



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

JEDNODUCHÝ SYSTÉM PRO SNÍMÁNÍ DUHOVKY

SIMPLE SYSTEM FOR IRIS IMAGE ACQUISITION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ KŘÍSTEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. RADIM KOLÁŘ, Ph.D.

BRNO 2014



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav biomedicínského inženýrství

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Biomedicínská technika a bioinformatika

Student: Tomáš Křístek

ID: 147521

Ročník: 3

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Jednoduchý systém pro snímání duhovky

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Důkladně prostudujte problematiku akvizice snímků duhovky za účelem biometrie. Popište princip akvizice publikovaných metod v anglické literatuře. 2) Navrhněte jednoduchý systém pro snímání multispektrálních obrazů duhovky. Při návrhu a výběru komponent se zabývejte potřebným prostorovým rozlišením a vhodným osvětlením. Při návrhu také respektujte dostupné vybavení na UBMI. 3) Systém realizujte a jeho funkčnost ověřte. 4) Proveďte nasnímaní sady reálných snímků duhovky a vyhodnoťte jejich kvalitu. 5) Na základě získaných snímků pak systém modifikujte s cílem zlepšení kvality nasnímaných obrazů. 6) Tyto snímky srovnajte s databází volně dostupných snímků CASIA a dostatečně diskutujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] DRAHANSKÝ, M., F. ORSÁG, a M. DOLEŽEL. Biometrie, Brno Computer Press, 2011.
[2] YAZHUO G. et al. High-Speed Multispectral Iris Capture System Design, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 61(7), pp.1966 - 1978, 2012.

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 30.5.2014

Vedoucí práce: doc. Ing. Radim Kolář, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Tématem bakalářské práce je systém pro snímání duhovky a identifikační metoda jejího rozpoznávání. Text poskytuje obecně teoretické informace jako úvod do oboru a problematiky, dále popisuje konstrukci a realizaci vlastního jednoduchého snímacího systému, návrh a vytvoření metodiky hodnotící kvalitu snímků a následnou identifikaci vlivných faktorů. V závěru je hodnocen průběh práce a její výsledky, poskytnuto je několik možných návrhů na budoucí rozvoj systému a vylepšení snímacího procesu.

Abstract

The themes of the thesis are the method of identification based on iris recognition and iris capture system. Text provides general theoretical information as an introduction to the field and issues, it describes the design and realization of a simple sensor system, the design and development of methodology for evaluating the image quality and subsequent identification of influential factors. At the end of the bachelor thesis, work and results are evaluated and some possible suggestions for future development and improvement of the sensing process are provided.

Klíčová slova

Snímání duhovky, rozpoznávání duhovky, snímač duhovky, biometrie duhovky

Keywords

Iris scanning, iris recognition, iris capture device, iris biometry

Bibliografická citace

Křístek, Tomáš. Jednoduchý systém pro snímání duhovky. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav biomedicínského inženýrství, 2014. 52 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Radim Kolář, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Jednoduchý systém pro snímání duhovky jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Radimu Koláři, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Obsah

Seznam obrázků a tabulek	8
1. Úvod	9
2. Snímání duhovky	10
2.1 Duhovka	10
2.2 Princip metody	10
2.3 Výhody duhovky	11
2.4 Obecná konstrukce přístroje	12
2.5 Infračervené záření	15
2.6 Ochrana a testy živosti	16
2.7 Praktické nasazení	17
3. Konstrukce systému	19
3.1 Snímací aparát	19
3.2 Osvětlovací aparát	21
3.3 Řídící aparát	23
3.4 Systémové snímací parametry	25
3.4.1 Prostorové rozlišení	25
3.4.1 Ohnisková vzdálenost	26
3.4.2 Hloubka ostrosti	27
3.4.3 Expoziční čas	29
3.4.4 Snímkovací frekvence	30
3.4.5 Zesílení	30
3.4.6 Snímací vzdálenost	31
3.4.7 Osvětlení	31
3.4.8 Další parametry	32
4. Hodnocení kvality snímků	33
4.1 Metodika hodnocení kvality snímků	33
4.1 Realizace metodiky pomocí prostředí Matlab:	35
4.2 Výsledky hodnocení kvality snímků	36
5. Závěr	39
Seznam použité literatury	41
Zkratky a pojmy	44

Přílohy	45
---------------	----

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 2.1 Příklad propustnosti IR filtru.	13
Obr. 2.2 Schéma přístroje pro snímání duhovky.....	14
Obr. 2.3 Porovnání snímků duhovky pořízených ve viditelném spektru	15
Obr. 2.4 Porovnání snímků duhovky pořízených v NIR spektru	16
Tab. 3.1 Základní parametry použité kamery	19
Obr. 3.1 Spektrální citlivost senzoru ICX445	21
Obr. 3.2 Spektrální propustnost IR filtru.....	21
Tab. 3.2 Srovnání základních parametrů LED	22
Obr. 3.3 Schéma osvětlovacího aparátu	23
Obr. 3.4 Fotografie zkonstruovaného systému.....	24
Obr. 3.5 Fotografie zkonstruovaného systému – čelní pohled	24
Obr. 3.6 Fantom KTO-111	26
Obr. 3.7 Modulační přenosová funkce snímacího systému	26
Obr. 3.8 Pravoúhlý trojúhelník – strana N představuje snímanou stranu hranolu, strana H rovná straně M představuje hloubku ostrosti	28
Obr. 3.9 Snímek cejchované plochy hranolu	28
Obr. 3.10 Jasový profil cejchované plochy hranolu	29
Obr.3.11 Hranol pro měření hloubky ostrosti systému při konkrétním nastavení snímacích parametrů	29
Rovnice 1: Výpočet zesílení, kde G je zesílení v decibelech, P0 je intenzita vstupního signálu a P je intenzita výstupního signálu.	30
Rovnice 2: Výpočet prvků průměrného spektra, kde P je průměrné spektrum, X_k jsou jednotlivá spektra, n je počet vzorků, N je počet spekter.	34
Rovnice 3: Výpočet indexu ostrosti, kde I_s je index ostrosti, P_n je výkon pásmu nižších frekvencí a P_v je výkon v pásmu vyšších frekvencí.....	34
Tab. 4.1 Hodnoty indexů ostrosti daných sad snímků, získaných z průměrných spekter.....	37
Obr. 4.1 Grafy spekter páteho měření výkonů, zvýrazněna je frekvence 20 Hz.....	37
Obr. 4.2 Porovnání indexů ostrosti jednotlivých snímků dle pořadí v souboru během 5. měření.....	38

1. Úvod

Snímání a rozpoznávání duhovky je relativně mladou identifikační metodou z oboru biometrie. Díky mnohým výhodám a vyspělým metodám má vysoký potenciál, vyšší pořizovací náklady a složitost systémů ji však stále řadí na druhou pozici v rozšířenosti za tradiční otisky prstů.

První část této práce představuje literární rešerše zabývající se technologií, technikami a postupy snímání a rozpoznávání duhovky. Nabízí seznámení s principy této metody, jejími výhodami a nevýhodami pro identifikační účely, nejdůležitějšími technickými komponenty a praktickým využitím. Pro lepší orientaci v problematice uvádí velmi stručný popis duhovky. Pouze informativně jsou nastíněny varianty útoků na rozpoznávací systémy a možnosti obrany proti nim. Pro ilustraci je také uvedeno několik příkladů využití technologie v praxi. Druhou částí práce je návrh a konstrukční realizace vlastního jednoduchého snímacího aparátu a pořízení testovací sady snímků za pomoci dobrovolníků. Text se věnuje popisu konstrukce, technickým parametrům samotného systému, dále snímacím a optickým parametrům a jejich vlivu na výsledný snímek. Třetí část obsahuje návrh a vytvoření metodiky hodnocení kvality vytvořených snímků. Počítá s ostrostí snímků jako hlavním hodnotícím kritériem. Protiváhou v kvalitativním srovnání je databáze snímků duhovky CASIA Iris. V prostředí Matlab je srovnání pomocí skriptu realizováno a výstupy jsou zde uvedeny. Závěrem jsou tato práce a její výsledky vyhodnoceny, deklarovány jsou možné postupy s cílem zvýšení úrovně kvality systému a jím pořízených snímků.

Úkolem této práce není vypracovat nebo reprodukovat jakýkoliv rozpoznávací či identifikační mechanismus, ani pomocí experimentální aparatury provádět identifikaci osob.

Snímek duhovky je, dle Zákona č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů, citlivý osobní údaj, žádné snímky duhovek pořízené během této práce proto nenesou jakékoliv identifikační údaje, které by je přímo spojovali s jejich nositeli (jméno, věk, místo bydliště, apod.)

2. Snímání duhovky

Tato kapitola seznamuje s obecnou teorií oboru snímání a rozpoznávání duhovky a předkládá nutný základ k pochopení dalších informací. Zabývá se také obecným přístupem ke konstrukci snímačů a poskytuje náhled do užití snímání duhovky v praxi.

2.1 Duhovka

Duhovka je důležitou součástí oka mající tvar mezikruží se středovým otvorem (zornice). Tvoří přechod mezi přední a zadní oční komorou. Spolu s konstrikcí a dilatací zornice zajišťuje regulaci množství světla dopadajícího na sítnici. Na duhovce lze rozlišit dva hlavní regiony: pupilární a ciliární oblast. Mezi pupilární a ciliární oblastí se nachází duhovkové okružní (collarette). Duhovka sama se skládá ze dvou hlavních vrstev. Přední stroma a zadní epitelová vrstva. Stroma obsahuje svalová vlákna m.dilatator pupillae a m.sphincter pupillae, svalů, které zajišťují změnu průměru zornice. Dále se zde nachází cévní zásobením, nervy, kolagenní a elastická vlákna. Zadní epiteliální vrstva je tvořena dvouvrstvým epitelem. Obsah a druh pigmentu, spolu s optickými jevy danými strukturou stromatu pak určují barvu duhovky.[3]

2.2 Princip metody

Obecným principem snímání duhovky je pořízení fotografie, následná analýza obrazu, vytvoření binárního kódu a jeho porovnání s databází. Nejprve je nutné získat odpovídající akvizici geometrii. Standardně se snímaná osoba snaží, dle pokynů přístroje či obsluhy, nastavit hlavu a oči do optimální polohy pro zaostření a pořízení snímku. Pomoc mohou zajišťovat například zvukové či světelné signály (případně jejich kombinace), ale některé systémy využívají také zrcadla nebo zpětného zobrazení, díky kterému snímaná osoba vidí, v jaké poloze vůči kameře se nachází. Přenosnými kamerami lze samozřejmě pohybovat v prostoru a dosáhnout kvalitní akvizici geometrii při nižší míře spolupráce ze strany snímané osoby. Technologicky náročnější řešení zahrnuje širokoúhlou kameru pro hrubou lokalizaci očí v obličeji, umožňující zacílení kamery s úzkým úhlem záběru pro samotné sejmutí duhovky.

Dostatečně ostré snímky jsou následně podrobeny analýze pro zjištění přítomnosti duhovky v obraze, a její lokalizaci. Účinnými nástroji pro tento účel jsou matematické detektory kruhových hranic. Tyto jsou schopny velmi přesně nalézt jak rozhraní duhovka zornice, tak hranici mezi duhovkou a bělmem. Detekci hranic očních víček provádí matematický operátor obloukových hranic. Pokud je viditelná část duhovky mezi horním a spodním víčkem menší než 50% předpokládané velikosti (například mrknutí), snímek je považován za nevhodný [2]. Zornice nemusí být přesně kruhová, proto je vhodné po hrubém určení hranice ještě zarovnat aktivní obrys dle skutečných obrysů.

Následuje Daugmanův model hrubého zarovnání. Tento převede každý bod duhovky do polárních souřadnic, parametry jsou úhel a vzdálenost bodu od středu. Takto jsou kompenzovány dilatace zornice a nekoincidenční středy duhovky a zornice

Samotné kódování znaků duhovky provádí nejčastěji Daugmanův algoritmus, který využívá k tvorbě kódu dvojrozměrnou Gaborovu vlnkovou demodulaci.[1] Ke tvorbě kódu je užitečná pouze fázová složka informace. Amplitudová složka je závislá na několika faktorech, jako je osvětlení, kontrast nebo typ senzoru, a zajišťování identických podmínek by bylo nepraktické. Fázové úhly oproti tomu zůstávají neměnné i při nízkém kontrastu snímku nebo nevhodném osvětlení. Výstupní fáze jsou v komplexní rovině kvantovány do čtyř kvadrantů. Každému kvadrantu jsou přiřazeny dva určující bity (dle znamének na reálné a imaginární ose). Do výsledného binárního kódu se pak za každý fázor zanesou právě tyto dva kvadrant určující bity. Přechodem fázoru mezi kvadranty se mění pouze 1 z bitů (jedná se o Grayův kód). Celkový kód duhovky je tvořen 256 bajty (2048 bitů). [1],[2]

Úspěšně vytvořený fázový kód lze uložit do databáze nebo jej porovnávat s již existujícími záznamy. Porovnání provádí jednoduchý bitový exkluzivní součet (XOR), jehož výsledkem je hodnota Hammingovy vzdálenosti (HD), tedy počet odlišných pozic v kódech stejné délky. Hammingova vzdálenost je mírou rozdílnosti mezi obrazy duhovek. Operace XOR je strojově velmi jednoduchá, což umožňuje provádět velké množství srovnání během krátkého časového úseku.

Distribuce hodnot Hammingovy vzdálenosti se řídí binomickým rozložením se střední hodnotou přibližně 0,5 a nízkou hodnotou střední odchylky [2]. V praxi se totiž jedná o Bernoulliho experiment, neboť srovnání je vlastně experiment se dvěma možnými protichůdnými výsledky. Funkce takového rozložení může nabývat svého minima již okolo hodnoty 0,3. Z výše uvedeného tedy vyplývá, že nalezení dvou duhovek s Hammingovou vzdáleností menší než 0,3 (jednotlivé hodnoty se mohou mírně lišit, záleží od výrobce) je velice nepravděpodobné, a tuto hodnotu lze považovat za mezní při rozlišování dvou vzorů [2]. Identifikační systémy tedy mohou být velmi benevolentní, a jakékoliv dvě porovnávané duhovky, jejichž Hammingova vzdálenost je menší nežli mezní, považovat za shodné.

2.3 Výhody duhovky

Duhovka je velmi vhodným výběrem pro oblast biometrie z několika důvodů. Prvním a nejvýznamnějším je variabilita. Vzory duhovky jsou pokládány za unikátní pro každého jednotlivce. V praxi to znamená, že rozdílné duhovky mají také jednovaječná dvojčata [1]. Odlišné vzory mají ovšem také levá a pravá duhovka jednoho člověka. Struktura a barva duhovky (duhovka se tvoří se prenatalně, ukládání pigmentu může probíhat ještě několik let po narození) je samozřejmě geneticky závislá, uplatňují se ovšem také vlivy vnějšího prostředí. Pravděpodobnost stejné genetické výbavy v kombinaci s naprosto stejnými

podmínkami vnějšího prostředí, které by umožnily vývoj dvou identických duhovek, je tedy zanedbatelná [2].

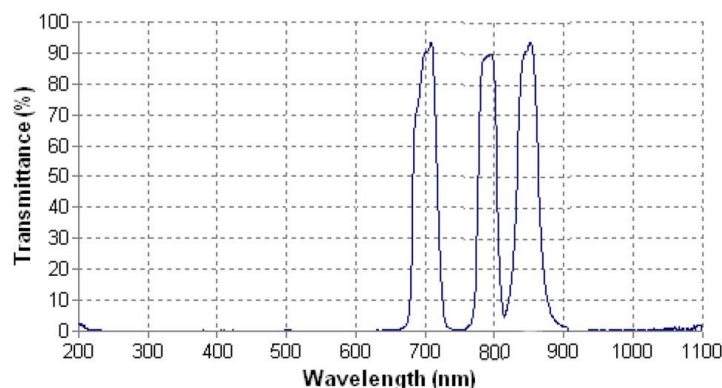
Duhovka, jako vnitřní součást oka, je dobře chráněná před vnějšími vlivy a poškozením. Pro porovnání, rozpoznávání otisků prstů jsou náchylné k selhání při změně struktury prstu (například dlouhodobá tvrdá manuální práce), nebo při změnách teplot, kdy prsty otékají. Duhovka je považována za stabilní v čase, tedy záznam pořízený v mládí by se měl bez problému shodovat se záznamem provedeným ve stáří [1]. Některé výzkumy však naznačují možný vývoj struktury a barvy s postupujícím věkem [8][10]. Struktura duhovky se také neobnoví v původním rozložení při poškození, ať už následkem zranění nebo choroby (například neurofibromatóza prvního typu zanechává na duhovce tzv. Lischovy uzlíky). V případě rozsáhlejšího narušení se tak stává rozpoznávání duhovky pro danou osobu nepoužitelné. Taktéž v případě osoby s aniridií (chybějící duhovkou) je logicky nemožné tuto metodu použít s úspěchem.

2.4 Obecná konstrukce přístroje

Typický systém pro snímání duhovky se skládá ze 4 hlavních částí: Snímací aparát, osvětlovací aparát, interakční aparát a řídicí jednotka [4].

Snímací aparát může být instalován buď jako celková externě smontovaná kamera, nebo jsou jednotlivé součásti integrovány do konstrukce přístroje. Hlavní částí snímacího aparátu je obrazový senzor (nejčastěji CCD), který snímá dopadající světlo. Před senzorem se obvykle nachází soustava čoček, která umožňuje akvizici ostrého obrazu duhovky jak díky zaostření, tak snižování minimální zaostřené vzdálenosti. Čočky pro autofokus (AF lens) obvykle disponují minimální zaostřenou vzdáleností vyšší než 50 cm, tedy větší než je obvyklá vzdálenost osoby od přístroje při snímání, která se pohybuje okolo 20-30 cm. Vhodným řešením je montáž předsádkových čoček (close-up lens), jaké se používají například pro fotoaparáty při focení v režimu makro, a které umožní AF čočce zaostření na nižší vzdálenost, a zajistí větší zvětšení [4]. Kvalitní předsádkové čočky poskytují dostatečnou ostrost ve středu obrazu, s pouze jemným zkreslením na okrajích, a umožňují tak získat dostatečně kvalitní obraz v požadované vzdálenosti 20-30 cm.

Složitější přístroje mohou disponovat různými filtry, které například eliminují odrazy světla od rohovky, nebo propouštějí pouze vlnové délky v oblastech hodnot, vysílaných vlastním osvětlovacím aparátem přístroje (příklad takového filtru Obr. 2.1). Druhý jmenovaný je obzvláště užitečný, neboť umožňuje získat obrazu na přístrojem vysílaných vlnových délkách, a díky odrazu viditelného světla funguje jako zrcadlo, umožňující snímané osobě sledovat odraz své duhovky [2].



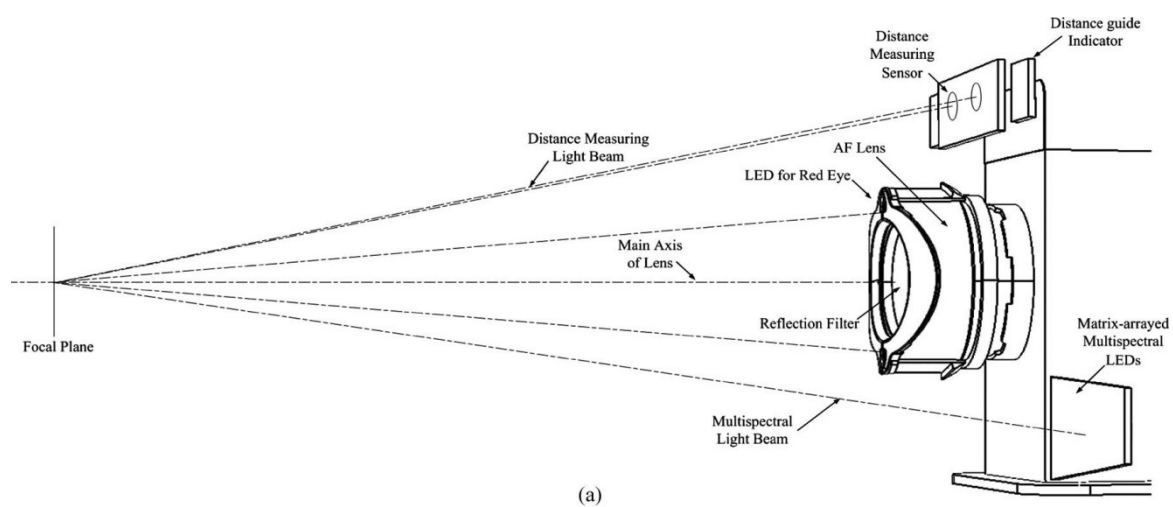
Obr. 2.1 Příklad propustnosti IR filtru. (Zdroj: [4])

Osvětlovací aparát přístroje tvoří nejčastěji soustava LED. Diody mohou vyzařovat pouze v oblasti okolo jedné vlnové délky, praktičtější je ovšem multispektrální varianta, například 3 druhů LED s různými vlnovými délkami. Takto získáme z osvětlené duhovky více informací. Při konstrukci přístroje je nutné respektovat vyzařovací úhel LED, tak aby byla duhovka co nejlépe osvětlena. Osy jednotlivých diod se protínají s osou čoček a senzoru, optimálně v polovině hloubky ostrosti, kam také ideálně skenovaná osoba nastaví své oko. Osvětlovací aparát lze také vylepšit doplňkovými diodami, s vlnovými délkami korespondujícími s hlavními diodami. Při nesouosém osvětlení lze pak střídavým spínáním hlavních a pomocných diod dosáhnout eliminace jevu „červených očí“ díky subtrakci dvou získaných obrazů. Jev červených očí vzniká právě při vstupu souosého světla do oka a jeho odrazu od sítnice zpět do snímáče.

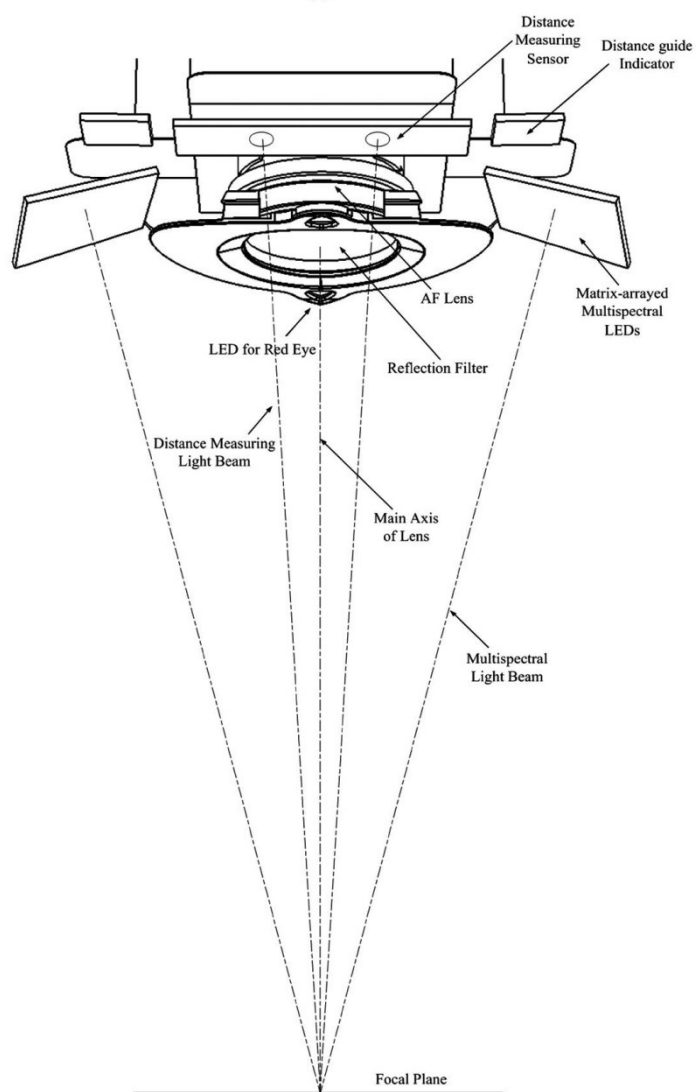
Interakční aparát může být tvořen systémem pro měření vzdálenosti snímané osoby os přístroje a komunikátorem, který sděluje snímané osobě pokyny. Vzdálenost lze měřit pomocí IR záření nebo ultrazvuku. V obou případech se jedná o metody založené na měření doby, za kterou se vyslaný signál vrátí do přijímače. Komunikaci se snímanou osobou je vhodné zajistit několika způsoby, aby nebyli znevýhodněni lidé s postižením některého ze smyslů. Využít tedy lze reproduktoru pro hlasovou komunikaci v kombinaci se soustavou několika LED, které barvou indikují, zda je osoba příliš blízko, daleko, nebo v ideální vzdálenosti. Pro případ neslyšící a nevidící osoby, která je však kompetentní pro snímání duhovky (postižení neurologického charakteru) by teoreticky mohlo být využito i hmatového komunikátoru, ačkoliv mi na trhu není znám takový systém.

Řídící jednotka ovládá a synchronizuje všechny předchozí aparáty. Zajišťuje digitální zpracování nasnímaného obrazu a přeposílá jej dále k uložení nebo porovnání v databázi. Technicky pokročilejší systémy mohou samy ukládat a porovnávat získané obrazy v interně uložené databázi.

Na Obr. 2.2 lze vidět schéma snímáčiho systému zahrnující snímací, osvětlovací a interakční aparát.



(a)

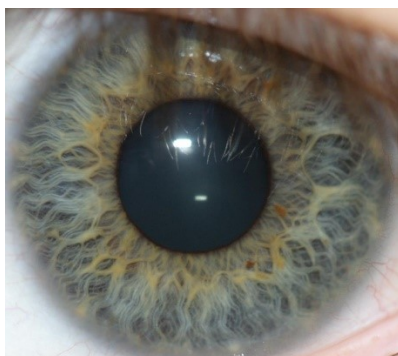


(b)

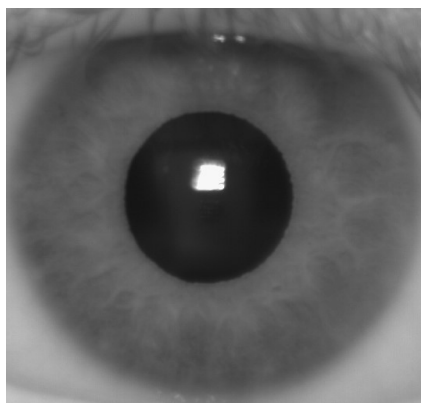
Obr. 2.2 Schéma přístroje pro snímání duhovky. (Zdroj: [4])

2.5 Infračervené záření

Světlo z blízké infračervené oblasti spektra (NIR) lze s úspěchem využít díky jeho vyšší pronikavosti do struktur duhovky. Jedná se o vlnové délky v rozmezí 750 – 1400 nm, v praxi se ovšem využívají převážně vlnové délky blíže spodní hranici uvedeného rozmezí [1][2][4]. Toto záření umožňuje průnik skrz tmavé zbarvení duhovky, které je v lidské populaci dominantní, neboť není absorbováno melaninem. Takto získáme více informací pro následnou konstrukci kódu. Moderní multispektrální systémy využívají kombinací osvětlení jak z oblasti viditelného světla, tak z oblasti NIR. Tímto způsobem dále zvyšují množství získané informace. NIR záření, na rozdíl od viditelného světla, není dostatečně schopné nést strukturní informaci poskytovanou pigmenty. Naopak z hlediska topologického, jak již bylo řečeno, je NIR záření výhodnější. Kombinací obou oblastí tak lze zvýšit výtěžnost. Tento postup je samozřejmě doprovázen vyššími nároky na akviziční systém. Osvětlením oka NIR zářením nedochází k oslnění snímané osoby, neboť lidská sítnice není na vlnové délky z NIR oblasti senzitivní [11]. Použití záření nad uvedené rozmezí je prakticky možné, přináší ovšem některé komplikace [13]. Jak lze vidět například na Obr. 3.1, citlivost klasických silikonových CCD senzorů se již u 1000 nm blíží k minimu, použití větších vlnových délek tedy vyžaduje speciální vybavení. Dále je nutno počítat s absorpcí elektromagnetického záření ve vodném prostředí. V rámci blízkého a středního infračerveného spektra roste absorpce s vlnovou délkou, s píkem okolo 1650 nm, což znesnadňuje vytvoření hodnotného snímku [14].



Obr. 2.3 Porovnání snímků duhovky pořízených ve viditelném spektru
(zdroj: www.wikipedia.com)



Obr. 2.4 Porovnání snímků duhovky pořízených v NIR spektru
(zdroj: www.wikipedia.com)

2.6 Ochrana a testy živosti

Ranné systémy pro rozpoznávání duhovky nebylo těžké obelhat. Díky jednoduchému principu, na kterém je systém založen, se nabízelo několik relativně snadných metod, jak se při kontrole prokázat cizí identitou, případně skrýt svou vlastní. Jak už bylo popsáno, při snímání duhovky se prakticky jedná o pořizování fotografie. Útočníkovi tak stačilo nabídnout přístroji jiný obraz, než reálný, prakticky například kvalitní, hustě tištěnou fotografii duhovky jiné osoby. Přístroj nemohl rozeznat skutečnou duhovku od její tištěné varianty.

Obranou proti podvrhům se staly tzv. testy živosti. Jedná se o různorodé metody, využívající povětšinou fyziologické vlastnosti oka, které mají za úkol pomoci skenovacímu systému zjistit, zda před ním stojí skutečné živé oko. Základním a nejjednodušším testem je ověření reakce zornice a duhovky na změnu osvětlení [2][12]. K tomuto účelu lze snadno využít osvětlovacího aparátu samotné kamery. Fyziologická zornice reaguje na změnu osvětlení dilatací nebo konstrikcí. Matematický operátor vyhledávající zornici v obraze pak takovou změnu snadno zaznamená. Na podvržené fotografii samozřejmě k žádné změně na zornici nedojde.

Druhou podobnou metodou testování živosti je detekce „hippu“, což jsou fyziologické malé periodické změny v průměru zornice [2]. Výraznost hippu ovšem klesá s věkem, jeho detekce se tedy nejvíce jako příliš dobrá varianta testování.

Pokročilé metody zahrnují například spektroskopické měření množství hemoglobinu v krvi [2]. Absorpční maximum Hb v okysličené krvi se totiž nachází v blízké infračervené oblasti, využívané duhovkovým skenerem.

Druhou nabízející se variantou oživení rozpoznávání duhovky je použití kontaktních čoček s umělé nanesenými barevnými vzory, které překryjí útočnickovu pravou duhovku. Nicméně duhovka umělé čočky nereaguje na změnu osvětlení žádnou změnou v rozměrech, může být tedy odhalena i jednoduchými testy živosti. Tiskový proces také zanechává na umělé duhovce stopy odhalitelné pomocí Fourierovy analýzy [1].

Jako velmi kritická se jeví varianta útoku, kdy útočník získá přístup k databázím s uloženými binárními kódy. V takovém případě lze reverzibilně sestavit a vytisknout obrázek skutečně duhovky, tak jej nasnímal sám skenovací systém. V extrémním případě, kdy útočník získá přístup mezi snímací kameru a jednotku či systém s databází, může takto poslat k ověření binární kód získaný z databáze, a neobtěžovat se jeho tiskem a prezentací před snímací kamerou. Oba uvedené případy však povedou k velmi vysoké, popřípadě stoprocentní shodě při porovnávání s databází (Hammingova vzdálenost bude rovna nebo blízká nule). Taková situace je však v praxi velmi nepravděpodobná [2]. Provedení dvou naprosto totožných snímání za běžných podmínek mimo laboratoře, se jeví jako prakticky nemožné. Indikace takto vysoké shody obrazů by měla tedy vést k podezření na podvrh.

2.7 Praktické nasazení

Biometrie duhovky zatím není, i přes svůj nepochybně velký potenciál, ve světě příliš rozšířená. Z řad biometrických metod je stále nejvíce rozšířeno snímání otisků prstů, případně rozpoznávání tváře či geometrie ruky. I přesto již biometrie duhovky našla řadu uplatnění, a to také ve významných projektech.

Jedním z nejvýznamnějších uživatelů je Komise pro uprchlíky Organizace spojených národů (UNHCR). Ta využívá rozpoznávání duhovky pro administraci přidělování balíčků a finančních prostředků afghánským uprchlíkům, vracejícím se z Pákistánu po pádu Talibánu. Díky tomuto je v rozdělování zajištěna spravedlnost, protože je vyloučeno opakované přidělení pomoci stejné osobě. Počet uprchlíků, kteří prošli tímto program, se pohybuje v řádech statisíců [2].

Dalším velice významným uživatelem jsou Spojené arabské emiráty. Ty vyžadují skenování duhovky u všech pasažérů, přijíždějících do země. Získaná data jsou následně porovnávána s databází duhovek vyhoštěných osob, jimž bylo provedeno skenování při vyhoštění. Kamery jsou umístěny na všech 17 vstupech do země a každý den je provedeno přibližně 3,5 miliard srovnání.[2]



Obr. 2.5 Scan duhovky ve Spojených Arabských Emirátech. (zdroj: www.irisguard.com)

Dalšími uživateli jsou některá letiště v různých zemích, například USA, Nizozemí či Japonsko. Zde mohou plnit několikero úkolů, a to jak identifikací pasažérů při příletu či odletu, tak hlídání přístupu a pohybu zaměstnanců v areálu letiště.[2]

Rozpoznávání duhovky našlo své uplatnění také v mnohých jiných oblastech. Všude tam, kde je zapotřebí přísně omezit pohyb a přístup nepovolaných osob, ať už se jedná o trezory, hlídané databáze či obytné domy. Za všechny snad jmenujme jen příklad z Japonska, kde rozpoznávání duhovky slouží pro řízení přístupu do nájemního domu a zároveň pro řízení pohybu výtahu pro konkrétního nájemníka.[2]

3. Konstrukce systému

Samotná konstrukce jednoduchého systému pro snímání duhovky vychází z dosavadních autorových poznatků, vědomostí, zkušeností, a dále také z dostupného vybavení a možností ÚBML. Snímací zařízení využívá ke své funkci základních a jednoduchých principů a součástí, pole využití je tak limitováno na laboratorní, studijní a pokusné účely.

Podkladem systému je těžká perforovaná ocelová deska, nesoucí snímací a osvětlovací aparát systému. Perforace po celé ploše desky poskytují možnost uchycení šrouby široké paletě různých prvků. Veškeré funkční součásti obou aparátů jsou montovány na malé teleskopické držáky, poskytující v kombinaci s montážními perforacemi podkladové desky rozsáhlé možnosti jejich lokalizace. Jistou výhodou je robustnost nosné struktury, která poskytuje určitou mechanickou ochranu vůči malým laboratorním nehodám, které by jinak mohly systém poškodit nebo rozladit. Řídicí aparát systému je realizován samostatně mimo ocelový podklad.

3.1 Snímací aparát

Použité snímací zařízení je malá průmyslová kamera vyráběná společností The Imaging Source, model DFK 23U445. Základní technické parametry kamery jsou uvedeny v tabulce Tab. 3.1, další údaje lze dohledat na webových stránkách výrobce.

Tab. 3.1 Základní parametry použité kamery (zdroj: www.theimagingsource.com)

Model	DFK 23U445
Rozlišení	1280*960
Citlivost	0.05 lx
Dynamický rozsah	8 bitů
Senzor	ICX445AQA
Velikost pixelu	V:3.75 μ m, Š: 3.75 μ m

Jak lze vyčíst z tabulky, kamera disponuje rozlišením 1280*960, což převyšuje hodnoty 640*480, běžně uznávané jako dostačující.[15] Připojení k PC a zároveň napájení je realizováno pomocí rozhraní USB 3.0. Na kameře byl nainstalován objektiv Computar MLH-10X s až desetinásobným zvětšením a manuálním nastavením přiblížení, ostření a clony. Protože objektiv poskytuje sám o sobě vysoké přiblížení a disponuje dostatečně nízkou minimální zaostřenou vzdáleností, nebylo nutné zařadit do snímacího aparátu žádné další optické čočky. Rozsah zaostřené vzdáleností činí 15 až 45 cm, což koresponduje s požadovanou snímací vzdáleností okolo 20 cm. Clonu lze nastavit v rozsahu F5.6 až F32.

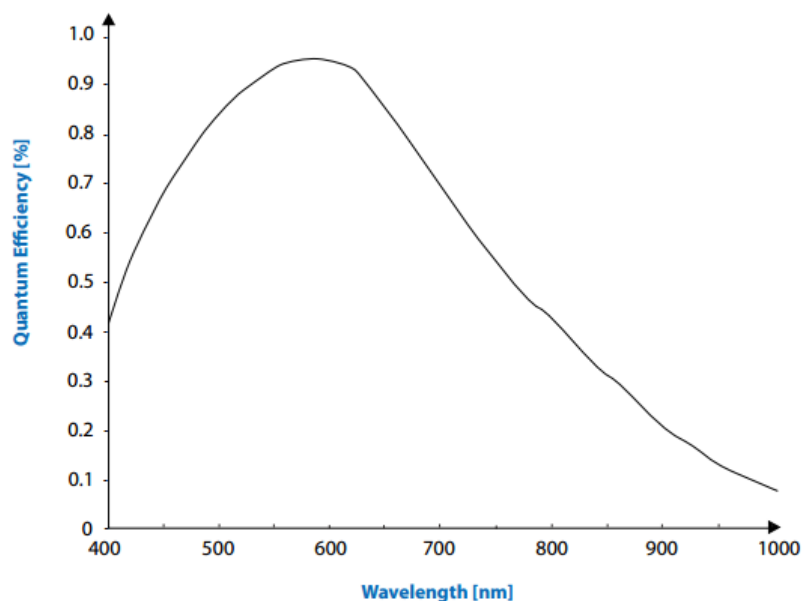
Manuální nastavení objektivu vyžaduje jistou dávku trpělivosti a jemný přístup, neboť ve vztahu k požadované práci disponuje systém malou hloubkou ostrosti. Empiricky se však proti jiným menším objektivům při snímání duhovky více osvědčil a poskytuje subjektivně vyšší úroveň detailu v obraze.

Z kamery byl pro potřeby této bakalářské práce odstraněn IR filtr, který při standardním užívání nepropouští záření z infračervené oblasti, které by jinak interferovalo s viditelným světlem. Snímání duhovky však probíhá hlavně v NIR části spektra, přítomnost filtru je tak pro tuto aplikaci nežádoucí.

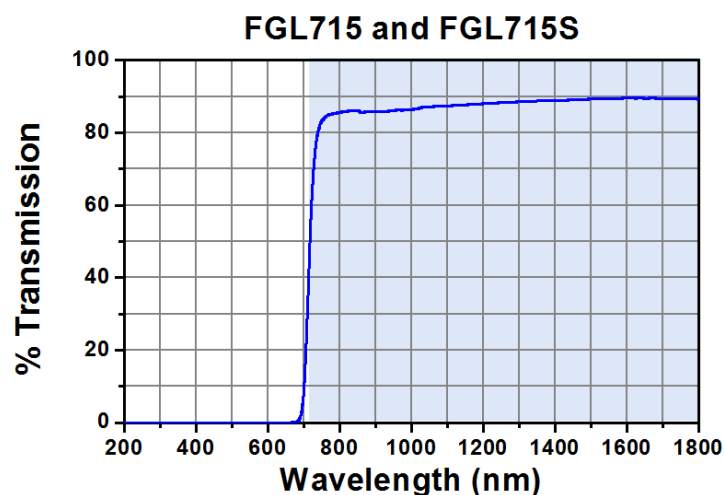
Ovládání kamery, zejména pořizování a ukládání jednotlivých snímků, je prováděno pomocí výrobcem dodaného programu *IC Capture* s příslušnými ovladači, nainstalovaném na univerzitním PC s operačním systémem Windows XP. Více v kapitole Řídící aparát.

Jak lze vyčíst grafu spektrální citlivosti senzoru kamery (Obr. 3.1), účinnost senzoru ICX445 v detekci na použitých NIR vlnových délkách nedosahuje ani 30 % a s rostoucí vlnovou délkou navíc dál klesá. Senzor není primárně určen pro fungování v IR oblasti a tento fakt významně ovlivňuje kvalitu pořízených snímků.

Těsně před objektiv kamery byl nasazen filtr propouštějící vlnové délky z oblasti infračerveného světla a delší. Tento filtr zajistí přístup NIR světla pocházejícího zejména z osvětlovacích LED k senzoru, a eliminuje vliv nežádoucího viditelného světla z okolí na výsledný snímek. Přes filtr samozřejmě prochází infračervené světlo z okolních a přírodních zdrojů. Přejít ve spektrální charakteristice filtru (Obr. 3.2) lze považovat za strmý a filtr tedy za kvalitní. V celém přenášeném pásmu vlnových není transmise 100%, při návrhu osvětlovacího aparátu je tedy nutno brát v úvahu také určitou míru absorpce prostupujícího světla.



Obr. 3.1 Spektrální citlivost senzoru ICX445 (Zdroj: www.theimagingsource.com)



Obr. 3.2 Spektrální propustnost IR filtru (zdroj: www.thorlabs.de)

3.2 Osvětlovací aparát

Umělé osvětlení zajišťuje 16 infračervených LED ve dvou osmičlenných skupinách dle hlavní vyzařované vlnové délky, a to sice 870 nm a 940 nm. Tyto hodnoty reprezentují spodní část NIR spektra. Jak již bylo uvedeno dříve, v praktických aplikacích, se zpravidla setkáme s třískupinovými systémy [4]. Pro potřeby této práce však byla skupina s kratšími vlnovými délkami z realizačních důvodů, souvisejících zejména s napájením a prostorovým rozložením jednotlivých LED, vynechána.

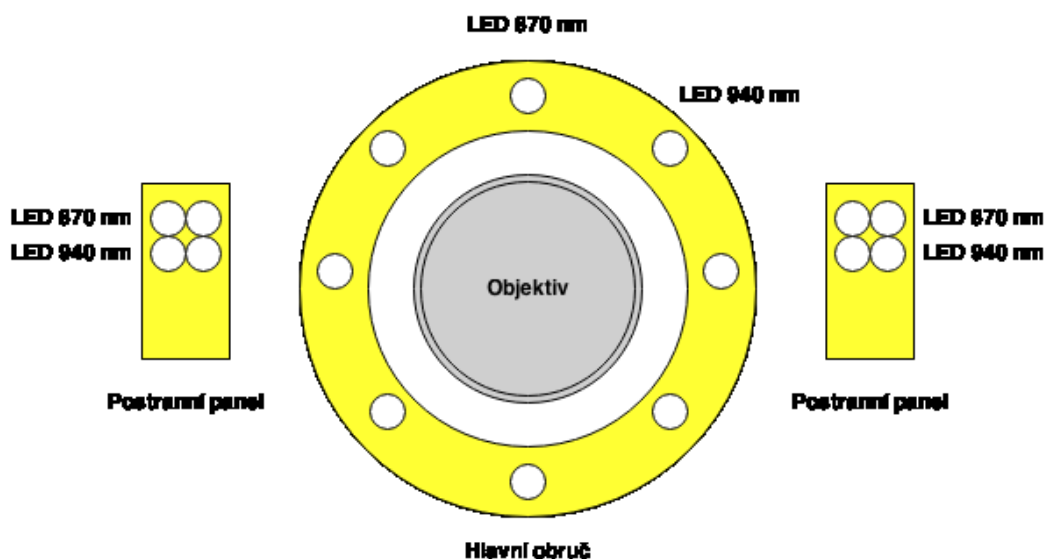
Jednotlivé LED jsou uspořádány do třech nezávislých bloků (schéma na Obr. 8). Podkladem těchto bloků jsou univerzální desky plošných spojů upravené řezáním, respektive soustružením do požadovaného tvaru. Každý blok disponuje oběma druhy LED ve stejném počtu, ručně napájených na podklad. Při pájení bylo důležité dbát správné polarizace zapojení. Rozložení LED v blocích ukazuje Obr. 3.3. Velký blok ve tvaru obruče nese dvě čtyřdiodové skupiny, z nichž každá je pomocí vodičů vzájemně propojená v sérii a má svůj vlastní zdroj napájení. Umístěny jsou střídavě na kružnici, tak aby jejich pokrytí bylo co nejsrovnatelnější. Dva nezávislé zdroje napájení pro tento blok jsou nutností z důvodu různých provozních napětí obou LED typů. Obruč samotná je uchycena na stavitelném držáku, umístěna v jedné linii s objektivem, a to tak, že konec objektivu souose prochází jejím středem. Dva menší bloky jsou tvořeny malými obdélníkovými panely, nesoucími každý po čtyřech LED, dvě od obou vlnových skupin. Tyto panely jsou umístěny po obou bocích snímací aparatury, nasměrované do předpokládané lokality snímání duhovky (nachází se na podélné ose objektivu) a mírně před úrovní obruče, tak aby vzdálenost všech třech osvětlovacích bloků od této lokality byla shodná. Jednotlivé LED dané vlnové délky jsou pospojovány do jedné série, a to i mezi oběma bloky. Tento postup byl zvolen vzhledem k úspoře na napájecích zdrojích. Spojení mezi bloky je zajištěno dostatečně dlouhými vodiči.

Samotné použité LED se skládají z heterostruktury na AlGaAs substrátu. Dioda je uzavřena v průhledném epoxidovém obalu. Použity jsou dva typy s vyzařovanou vlnovou délkou 870 nm a 940 nm. Obě diody disponují stejným celkovým vyzařovacím úhlem o hodnotě přibližně 20°. Vzhledem k ručnímu pájení diod na desku se spoji nelze s jistotou zaručit protnutí os všech diod ve stejném bodě.

Tab. 3.2 Srovnání základních parametrů LED

	870 nm	940 nm
Běžné provozní / max. napětí	1,5 V / 1,7 V	1,3 V / 1,45 V
Optický výkon	22 mW	18 mW

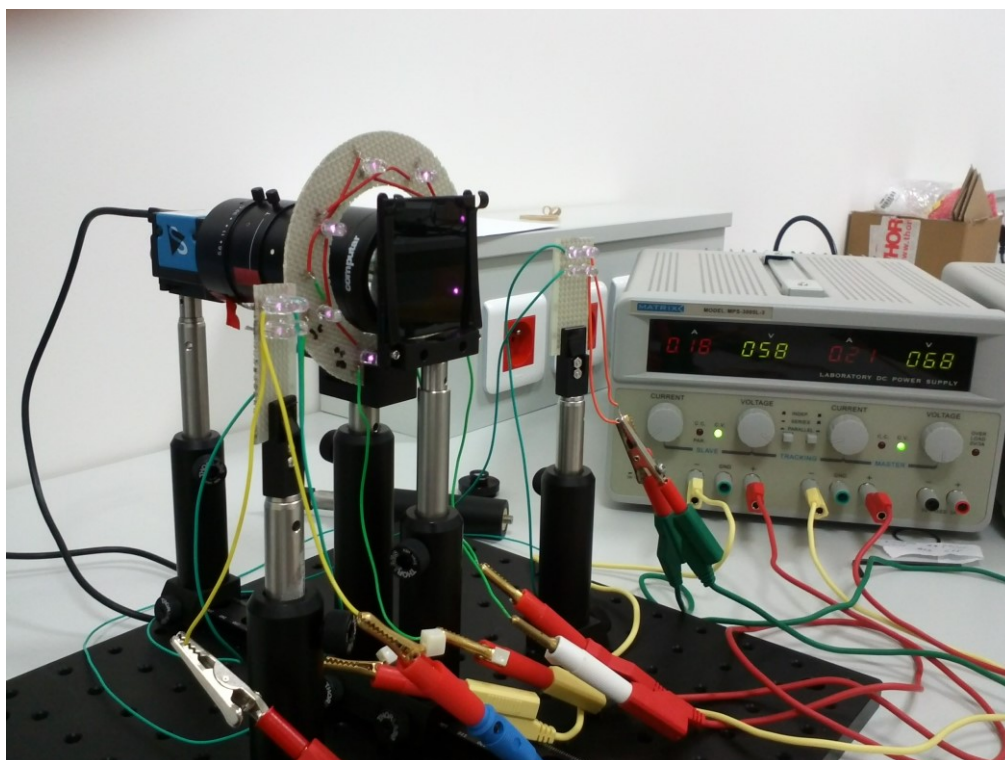
Jak lze vyčíst z tabulky (Tab. 3.2), provozní a maximální dovolené napětí se mezi oběma druhy LED liší. Právě to je důvodem pro rozdělení napájení v každém bloku do dvou větví (stejně typy v obou postranních panelech jsou spojeny v jednu sérii, důvodem je úspora potřebných napájecích zdrojů), v opačném případě by při plném dovoleném napětí 870 nm diod mohlo dojít ke spálení druhého typu. Tato sestava tedy celkem obsahuje 4 nezávislé napájecí větve, vycházející ze dvou laboratorních zdrojů.



Obr. 3.3 Schéma osvětlovacího aparátu

3.3 Řídící aparát

Kontrola nad snímacím aparátem, ovládání snímání scény, ukládání fotografií a nastavování některých parametrů systému je realizováno pomocí řídicího aparátu. Ten je tvořen univerzitním počítačem s nainstalovaným operačním systémem Windows XP. Důležitou komponentou je program IC Capture, volně dostupný ke stažení na stránkách výrobce kamery. Nutností při použití dané kamery je vybavení aparátu příslušnými ovladači, dostupnými na tomtéž místě. S výhodou lze při základním ovládání (spoušť a ukládání) využít klávesových zkratk, které významně ulehčují práci při testování, kdy je subjekt zároveň obsluhou i modelem. Hlavními parametry stavitelnými prostřednictvím řídicí aparatury jsou doba expozice, počet snímků za sekundu a zesílení. Spojení mezi řídicí a snímací aparaturou zajišťuje datový kabel USB 3.0.



Obr. 3.4 Fotografie zkonstruovaného systému



Obr. 3.5 Fotografie zkonstruovaného systému – čelní pohled

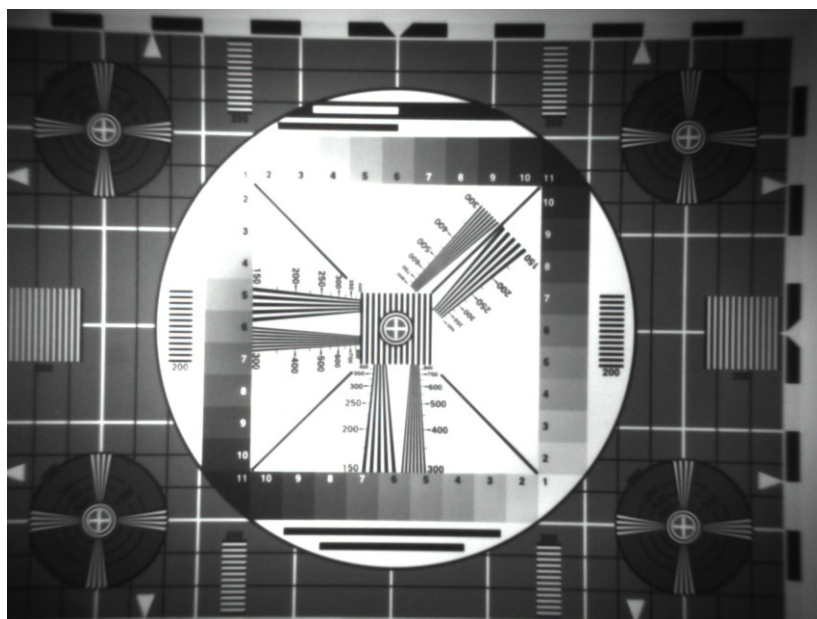
3.4 Systémové snímací parametry

Jedná se o takové technické parametry, které svými hodnotami přímo ovlivňují schopnost snímače zachytit vlastnosti snímané scény.

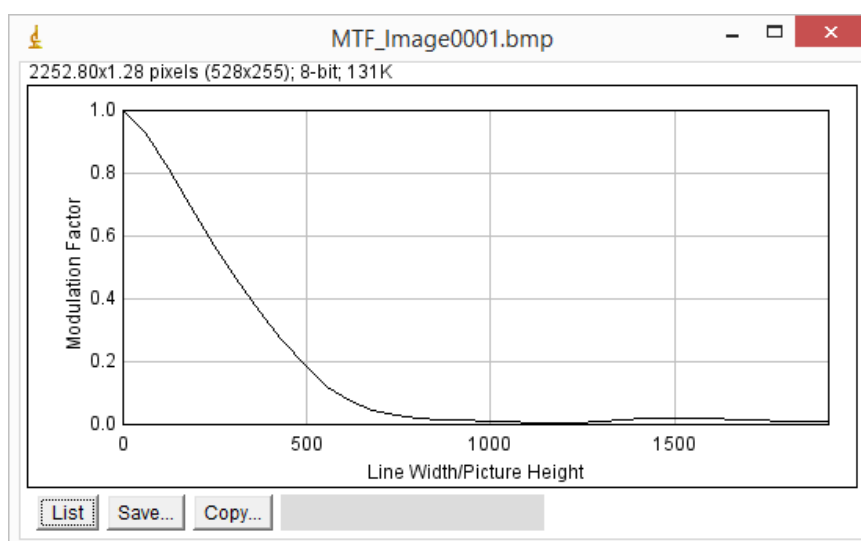
3.4.1 Prostorové rozlišení

Prostorové rozlišení je velmi důležitý parametr, udávající schopnost snímacího systému rozlišit od sebe dva blízké elementy. Přeneseně pak říká, jaká vzdálenost mezi dvěma čarami je stále činí rozlišitelnými. Standardně bývá udáváno v jednotkách *počet párů čar/jednotka délky (lp/mm)*, kde párem čar jsou myšleny dvojice vedle sebe uspořádaných černých a bílých pruhů. V současné době digitálních senzorů se také lze často setkat s jednotkami *počet cyklů/pixel*, kdy jeden cyklus odpovídá jednomu páru čar, a *počet šířek čar/výška obrázku*, který de facto udává, kolik čar se vejde do rozměru výšky obrázku [17]. Aby současný systém pro snímání duhovky splňoval alespoň základní požadavky, měl by disponovat prostorovým rozlišením minimálně 2 lp/mm při 60% kontrastu [18]. Vztah relativního kontrastu vůči prostorovému rozlišení (respektive prostorové frekvenci) udává modulační přenosová funkce (MTF). Křivku MTF lze sestavit za pomoci snímání speciálním obrazových fantomů, jaké definuje například norma ISO 12233 nebo vyrábí společnost Danes-Picta (zde použitý fantom KTO-111). Tyto fantomy obsahují několik typů formací, mimo jiné blok cyklů čar se zvyšující se frekvencí nebo větší černé bloky obklopené bílou plochou, na kterých lze pomocí různých počítačových programů zjistit průběh jasového profilu na hranách daného bloku, a z něj následně sestavit modulační přenosovou funkci. Dobrým způsobem porovnávání mezi systémy může být srovnání hodnot prostorového rozlišení na 50% [17] nebo 60% úrovni kontrastu [19].

Měření na vlastním snímacím systému probíhalo pomocí zkušebního fantomu KTO-111 Universal Chart (Obr. 3.6), a programu ImageJ s pluginem SE_MTF_2xNyquist.jar. Výstupem je křivka MTF s horizontální osou v jednotkách *šířky čar/výška obrazu*. Z grafu průběhu MTF (Obr. 3.7) lze zjistit, že hodnota MTF₅₀, tedy rozlišení na úrovni 50% kontrastu činí 286 šířek čar na výšku obrazu (286 LW/PH), kde výška obrazu činí 960 pixelů. Je však třeba brát v potaz, že vzdálenost mezi fantomem a snímacím systémem, z principu této metody, činila přes půl metru, což je hodnota za horní mezní hranici operačního rozsahu ostření objektivu, a osvětlovací aparát není stavěn pro činnost na tak dlouhé vzdálenosti.



Obr. 3.6 Fantom KTO-111



Obr. 3.7 Modulační přenosová funkce snímacího systému

3.4.1 Ohnisková vzdálenost

Ohnisková vzdálenost je vzdáleností mezi čočkou a jejím ohniskem [24]. Na použitém objektivu nelze tuto hodnotu správně zjistit, protože není vybaven cejchovanou stupnicí. Výrobce udává hodnotu efektivní ohniskové vzdálenosti (vzdálenost ohnisko-optický střed) se může měnit v rozmezí 13 až 130 mm.

3.4.2 Hloubka ostrosti

Hloubka ostrosti je parametr udávající rozdíl mezi neblížejší a nejvzdálenější pozicí, mezi nimiž se snímáný objekt nebo jeho část ještě jeví lidskému oko jako ostrý. Hloubka ostrosti je ovlivňována především třemi hlavními faktory: ohniskovou vzdáleností, clonou a vzdáleností snímaného objektu. [23]

- Čím větší je ohnisková vzdálenost, tím menší je hloubka ostrosti. Značně tuto hodnotu tedy zmenšují například objektivy s velkým zvětšením.
- S klesající vzdáleností snímaného předmětu klesá i hloubka ostrosti.
- S rostoucím clonovým číslem (zmenšování prostupného otvoru) se naopak hloubka ostrosti zvyšuje.

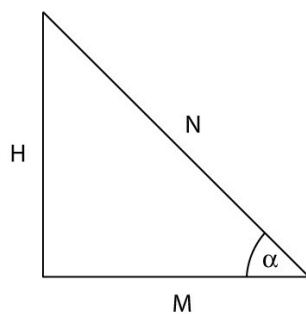
Protože duhovka není útvar plochý, ale je určen také svou hloubkou, pak z právě uvedených informací vyplývá nutný postup, pakliže je v této práci použit objektiv s velkou ohniskovou vzdáleností (velkým zvětšením) a snímáný objekt, duhovka, se nachází v malé vzdálenosti od snímacího aparátu. Jediným řešením je zvýšení clony, čímž dosáhneme přijatelné hloubky ostrosti pro tuto práci. Ovšem zvýšení clonového čísla s sebou pochopitelně nese negativní jev v podobě ztmavení obrazu, které je nutné kompenzovat zesílením snímaného signálu, čemuž se věnuje samostatný odstavec dále.

Pakliže jednou nastavíme hodnoty výše zmíněných faktorů, můžeme pomocí testovacího obrazce určit a vypočítat hodnotu hloubky ostrosti pro tuto konkrétní kombinaci parametrů. Měření se zakládá na pořízení snímku malého hranolu (Obr. 3.11), jehož strana, přivrácená k objektivu, je vůči němu nakloněná pod úhlem 45° a disponuje na ploše vyznačenými souběžnými čarami, vzdálenými od sebe přesně jeden milimetr (Obr. 3.9). Na tomto snímku určíme po obou stranách krajní čáry, které ještě považujeme za přijatelně ostré, a na základě počtu dalších čar mezi nimi jednoduše zjistíme jejich vzdálenost. Protože je tato plocha vůči objektivu pod úhlem právě 45° , získáme tím rozměr přepony (N) pravoúhlého trojúhelníku, jehož obě stejně dlouhé odvěsny (H , M) nám reprezentují výslednou hloubku ostrosti. Jejich rozměr zjistíme pomocí základní trigonometrie:

$$\text{hloubka ostrosti } H = M$$

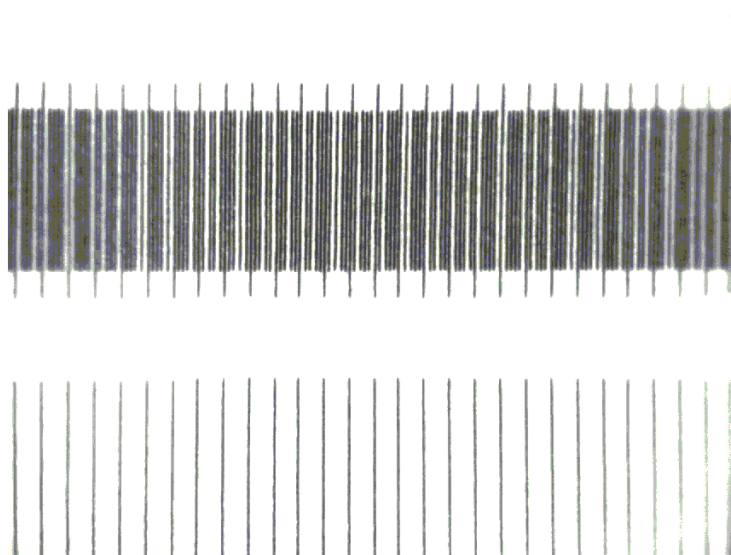
$$\text{délka ostré oblasti } N = \text{počet čar} \cdot 1 \text{ mm}$$

$$H = N \cdot \sin(45^\circ)$$

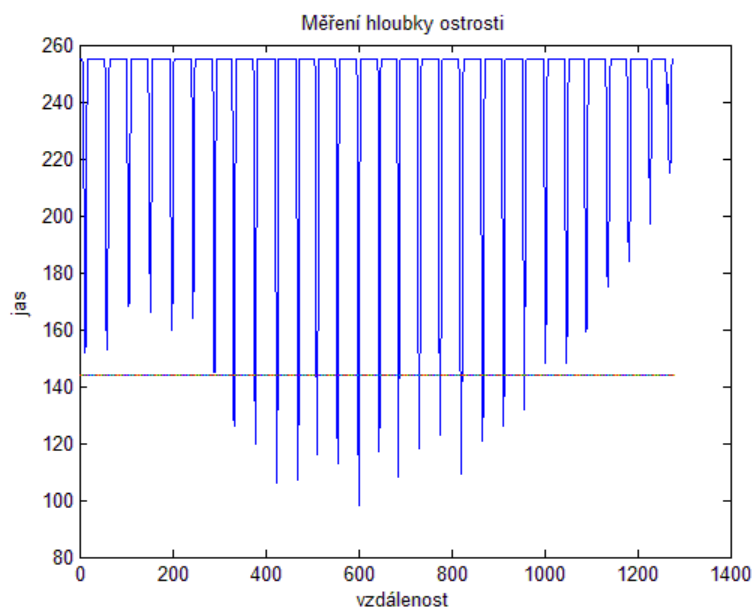


Obr. 3.8 Pravoúhlý trojúhelník – strana N představuje snímanou stranu hranolu, strana H rovná straně M představuje hloubku ostrosti

Na pomoc využijeme programové prostředí Matlab. K práci přiložený skript `hloubka_ostroiti.m` pomocí funkce `improfile` vytvoří jasový profil podél celé linie vyznačených čar (k této linii kolmých). Protože cejchování je provedeno černou barvou na bílém pozadí, za hraniční čáry budeme považovat ty, jejichž rozměr jasového vrcholu ještě nepoklesne o 3dB vůči maximálnímu vrcholu v grafu (Obr. 3.10). Po určení koncových čar již hloubku ostrosti určíme dle výše uvedeného postupu.



Obr. 3.9 Snímek cejchované plochy hranolu



Obr. 3.10 Jasový profil cejchované plochy hranolu

V tomto konkrétním případě zkonstruovaný aparát při snímání vzdálenosti 21 cm (uvedeno dále) snímá ostře 15 čar. Výpočtem tedy zjistíme, že disponuje hloubkou ostrosti o velikosti 10,6 mm.



Obr. 3.11 Hranol pro měření hloubky ostrosti systému při konkrétním nastavení snímacích parametrů

3.4.3 Expoziční čas

Expoziční čas je doba, po kterou fotografický materiál vystaven vnějšímu světlu [24]. Pokud je fotografický materiál nahrazen CCD čipem s globální závěrkou, jako je tomu v případě naší průmyslové kamery, je třeba expoziční čas chápat jako dobu, po který čip snímá dopadající světlo, jednotlivé pixely hromadí vzniklý náboj a po odvedení náboje se „vyresetují“, neboť při absenci fyzické závěrky na něj světlo dopadá neustále.

Expoziční čas má velmi významný vliv na výsledný snímek. Čím delší expoziční je nastaven, tím bude fotografie světlejší, neboť se na čip stihne nahromadit více dopadajících fotonů [24]. Negativním dopadem však může být vznik pohybové neostrosti, pokud se scéna v průběhu snímání mění. V umělecké sféře lze tento efekt považovat za přínosný, v oboru biometrie se ale jistě jedná o věc nežádoucí. Naopak s kratším expozičním časem dosáhneme tmavšího snímku, případná pohybová neostrost bude omezena [24]. Jak je vidno, hodnota expozičního času musí být do jisté míry kompromisem.

Během této práce byla empiricky, na základě subjektivního dojmu, nastavena hodnota expozičního času na 1/50 sekundy.

3.4.4 Snímkovací frekvence

Snímkovací frekvence je hodnota udávající počet snímku, které kamera sejme během jedné sekundy. Udává se nejčastěji v jednotkách FPS (frames per second) [25]. Přestože výrobce udává u kamery DFK 23U445 snímkovací frekvenci až 30 snímků/s, pomocí programu IC Capture bylo možno zvolit hodnotu FPS nejvýše 15 snímků/s

3.4.5 Zesílení

Zesílení je parametr udávající, nakolik snímací systém zesiluje elektrický signál, vytvořený na pixelech CCD čipu. Zesílení využijeme v případě, kdy za dané konstituce systému je obraz příliš tmavý. Negativním jevem je samozřejmě zesílení doprovodného šumu [24]. Jednotkou zesílení je decibel, jedná se tedy o logaritmický proces (zesílení v IC Capture udáváno v dB, ve fotografování bývá udávána v ISO [24]).

$$G = 10 \cdot \log \frac{P}{P_0} [dB]$$

Rovnice 1: Výpočet zesílení, kde G je zesílení v decibelech, P₀ je intenzita vstupního signálu a P je intenzita výstupního signálu.

Zesílení signálu například na dvojnásobek by bylo reprezentováno hodnotou přibližně 3dB. V rámci snímacího procesu během této práce je nutné respektovat ideální vzdálenost mezi snímačem a subjektem, což ve vztahu k použitému objektivu vyžaduje specifické nastavení přiblížení a zaostření. Tím ovšem dojde k ovlivnění hloubky ostrosti, která je pro snímání duhovky důležitým faktorem, a její zachování vyžaduje zvětšení clony [24]. Tento postup negativně ovlivní světlost výsledného snímku, což vytváří prostor pro využití zesílení jako kompenzujícího prvku.

Subjektivním hodnocením se dobrým kompromisem ukázala být hodnota 9dB (tedy přibližně osminásobné zesílení), při níž zesílení poskytne dostatečné zesvětlení výsledného obrázku a zároveň je šum udržen na akceptovatelné úrovni.

3.4.6 Snímací vzdálenost

Jako snímací vzdálenost zde uvažujeme vzdálenost mezi vrcholem kamerového objektivu a snímaným subjektem. Již v teoretické části byla zmíněna běžně užívaná vzdálenost pohybující se okolo dvaceti centimetrů. Během postupného experimentování s vhodným nastavením hodnot dalších parametrů (zejména zvětšení a clona) byla za komfortní shledána vzdálenost 21 cm.

Každý snímaný subjekt byl požádán, aby přiložil svou hlavu právě do této vzdálenosti od objektivu. Reálně se však skutečná vzdálenost mezi objektivem a duhovkou není přesně 21 cm, neboť geometrické proporce lidského obličeje a oka jsou rozmanité, lišící se navíc subjekt od subjektu, a proto se exaktní snímací vzdálenost objektiv-duhovka pohybuje v rozmezí několika jednotek či desetin milimetru od stanovené hodnoty 21 cm. Uživatelský komfort a čas totiž nedovoluje požadovat po snímaném subjektu absolvování složité vyměřovací procedury. Vzniklé odchylky pozice snímané duhovky od zaostřeného bodu byly v případě výskytu mimo hloubku ostrosti kompenzovány dodatečným jemným přizpůsobením zvětšení.

3.4.7 Osvětlení

Osvětlení snímaného objektu je jedním z nejdůležitějších elementů v procesu snímání duhovky osvětlení. Za předpokladu správně fungujícího infračerveného filtru, popouštějícího pouze záření v IR oblasti, je snímané oko osvětleno pouze infračerveným světlem, jehož zdrojem je hlavně osvětlovací aparát snímacího systému.

Jistá část záření dopadajícího na senzor kamery však pochází z okolních zdrojů, ať už se jedná o slunce nebo osvětlení v místnosti, kteréžto obě produkují také infračervené světlo. Aby byla zajištěna co nejvyšší stálost a reprodukovatelnost snímacích podmínek, byly ve snímací místnosti úplně zataženy žaluzie, které omezily vstup přírodního světla, jakožto obtížně reprodukovatelné veličiny, na minimum. Světelné podmínky nutné pro všeobecnou manipulaci a komfort při práci jsou tak zajištěny pouze umělými zdroji osvětlení v místnosti, jejichž parametry lze považovat za konstantní. Náležité nastavení clony objektivu ve vztahu k požadované hloubce ostrosti však potlačilo vliv umělého okolního světla na snímací proces na prakticky zanedbatelnou hodnotu. Jako aktivní prvek osvětlení tak již de facto vystupuje pouze osvětlovací aparát samotného snímacího systému.

Důležitým parametrem se tedy stává proud a napětí na jednotlivých větvích LED, které určuje míru intenzity jejich záření. Pro obvody s 870 nm LED je využito maximální hranice dovoleného napětí, tedy 1,7 V.

Protože jsou v každém obvodu 4 kusy LED zapojené v sérii, nastavené napětí bude činit 6,8 V. Odpor obvodu způsobující možný úbytek napětí je zanedbán. Podobně pro obvody s 940 nm LED činí maximální dovolené napětí 1,45 V a napětí nastavené na zdroji bude tedy mít hodnotu 5,8 V. Svítivost LED je přímo závislá na procházejícím proudu. Proud větvemi s 870 nm LED se pohybuje v rozmezí 200 až 250 mA, pro větvě 940 nm pak 170 až 200 mA. Hodnoty proudů kolísají z důvodů nižší kvality pájených spojů, které kvůli zatížení připájených vodičů svorkami, a ohybovému a tahovému namáhání při manipulaci se systémem vykazovaly malou míru uvolnění.

3.4.8 Další parametry

Další parametry, které sice mohou mít vliv na proces snímání, avšak jsou dány vlastnostmi samotné kamery či objektivu a nelze je uživatelsky ovlivnit, zde nebudou rozebírány. Jedná se především o citlivost, dynamický rozsah a rozměry pixelu.

Objektiv disponuje třemi obručemi pro manuální nastavení clony, přiblížení a ohniskové vzdálenosti. Bohužel u všech tří chybí cejchovaná stupnice nebo jiný indikátor hodnoty, a proto není možné spolehlivě kvantifikovat ani jeden z těchto parametrů. Rozsahy nastavitelných hodnot byly uvedeny v kapitole 3.1.

4. Hodnocení kvality snímků

4.1 Metodika hodnocení kvality snímků

Jedním z důležitých úkolů této bakalářské práce je vyhodnocení kvality snímků pořízených zkonstruovaným systémem. Díky hodnocení kvality lze provést objektivní zpětnou kritiku a případné úpravy snímacího systému.

Rozhodujícím parametrem pro hodnocení byla zvolena ostrost výsledného obrazu. Ostrost totiž určuje, jaké množství detailu umí zobrazovací systém reprodukovat.[17] Ostře obrazy jsou pro člověka na pohled obvykle příjemnější, pro identifikační systémy pak důležitost tkívá právě v množství detailu, které snímací systém přenese nebo naopak ztratí, a tedy s jakou kvantitou a kvalitou informací může analytická část systému pracovat. Ostrost lze chápat jako vyjádření míry strmosti přechodu mezi dvěma oblastmi s rozdílnými odstíny nebo barvami.[17] Ostrost, jakožto abstraktní veličina, úzce souvisí s prostorovým rozlišením, pomocí kterého jej lze dobře kvantifikovat [17]. Jiné způsoby hodnocení zahrnují například frekvenční analýzu, neboť je známo, že za ostrými přechody v obraze stojí právě vysoké frekvence [26]. A právě s tímto druhým způsobem zde budeme pracovat, neboť měření pomocí modulační přenosové funkce zde není vhodným přístupem, jak bude uvedeno dále.

K hodnocení ostrosti snímku tato bakalářská práce využívá faktu, že ostrost lze poměřovat pomocí hranového kontrastu, jak tomu činí například automatické ostření moderních fotoaparátů [24]. Při snímání duhovky obraz obsahuje také další elementy oka, které pro tento obor nejsou primárně důležité. Z hodnocení je lze vynechat. Vybereme tedy z obrazu reprezentativní kružnici, jejíž střed je pokud možno v co nejvyšší shodě se středem zornice (nutno brát v úvahu, že zornice nemusí být dokonalým kruhem, a zadávání středu probíhá manuálně), s poloměrem o velikosti přibližně 1,2 násobku poloměru zornice. Tato oblast zpravidla nebývá na snímku pokryta řasami foceného oka i za stavu, kdy subjekt nedostatečně rozevřel oční víčka. Podél této kružnice si necháme vykreslit jasový profil. Obrázky pořízené systémem pro snímání duhovky v NIR spektru jsou ze své podstaty černobílé. Proto zahrnuje jasový profil pouze hodnoty vztažené ke škále šedi. Mimo informace o struktuře duhovky podél dané kružnice obsahuje jasový profil také informace o strmosti přechodu mezi světlými a tmavými strukturami, tedy o kontrastu. Jak již bylo uvedeno, dle tohoto parametru lze usuzovat na ostrost obrazu. Využijeme tedy kvantifikaci kontrastu - strmosti přechodů v jasovém profilu k hodnocení kvality pořízených snímků.

Jednoduchým nástrojem pro tento účel je rychlá Fourierova transformace. Amplitudové frekvenční spektrum poskytuje informace o zastoupení jednotlivých frekvencí ve výsledné křivce jasového profilu [26].

Předpokládejme nyní, že vyšší frekvence poukazují na vyšší strmost přechodu. Pokud tedy bude zastoupení a výkon na vyšších frekvencích v daném profilu silné, můžeme tento profil považovat za kontrastní a obraz za ostrý.

Protože posuzujeme kvalitu obrazu, který snímací systém poskytuje, a k dispozici pro posouzení máme vzorky obou duhovek od několika subjektů, potřebujeme získat jedno spektrum, které bude zastupovat celý systém. Takové spektrum vytvoříme zprůměrováním jednotlivých frekvenčních spekter od všech vzorků.

$$P(n) = \frac{\sum_1^N X_k(n)}{N}$$

Rovnice 2: Výpočet prvků průměrného spektra, kde P je průměrné spektrum, X_k jsou jednotlivá spektra, n je počet vzorků, N je počet spekter, $k=1..N$

Získané průměrované spektrum pak můžeme porovnávat se snímky z jiných zdrojů, u nichž byla analýza provedena stejným způsobem. Abychom mohli říct jaké je zastoupení vyšších frekvencí v daném spektru, musíme nejprve určit hodnotu hraniční frekvence, která bude oddělovat dvě části spektra: oblast nižších frekvencí a oblast vyšších frekvencí. Pak zjistíme výkony v obou daných oblastech, které již lze porovnávat.

Při porovnávání však musíme zohlednit různé podmínky, při nichž snímání probíhalo. Teoreticky stejné systémy budou při různých podmínkách generovat různé výsledky. Abychom eliminovali vliv především světelných podmínek a snímací vzdálenosti, musíme získaná data znormalizovat. To provedeme dělením výkonů v obou pásmech. Získáme tím jednu číselnou hodnotu, která není charakterizována konkrétními hodnotami, nýbrž poměrem, což nám umožní rychle a jednoduše porovnávat snímky, které vznikly za odlišných podmínek.

$$I_s = \frac{P_v}{P_n}$$

Rovnice 3: Výpočet indexu ostrosti, kde I_s je index ostrosti, P_n je výkon v pásmu nižších frekvencí a P_v je výkon v pásmu vyšších frekvencí.

V rámci této bakalářské práce bude za standard v oblasti snímání duhovky považována biometrická databáze CASIA Iris Image Database (dále jen CASIA Iris) [16]. Jedná se o databázi s obsahem více než 54 tisíc snímků pocházejících od 2 800 živých a virtuálních subjektů, vytvořenou za účelem podpory výzkumu a vývoje na poli biometrie. Původcem databáze CASIA Iris je Institut automatizace Čínské akademie věd (Chinese Academy of Sciences' Institute of Automation = CASIA).

Pro akademické a výzkumné účely je databáze veřejně dostupná (po ověření registrace) na stránkách Biometric Ideal Test (www.biometric.idealtest.org), které krom fotografií duhovek obsahují i data z jiných oborů biometrie, jako jsou otisky prstů, dlaní, rozpoznávání obličejů nebo rukopisu.

Celá databáze se skládá z několika podsouborů, lišících se zaměřením na různé cíle nebo použitými snímacími metodami. Pro účely této práce je využit soubor CASIA-Iris-Interval. Z dostupných souborů je právě tento svou metodou snímání nejvíce podobný postupům v této práci. Autoři souboru Interval vyvinuli pro sběr dat svou vlastní makro kameru s rozlišením pouhých 320*280, obsahující umělé osvětlení zajištěné kruhovou řadou NIR LED. Snímání probíhá ze vzdálenosti přibližně dvaceti centimetrů. Principiálně jsou tedy metoda snímání a aparatura velmi podobné zde popisovanému. Celý soubor interval obsahuje více než dva a půl tisíce fotografií, pocházejících od 250 subjektů, převážnou část tvoří studenti se stážemi na CASIA.

Soubor CASIA Iris Interval bude, vzhledem ke svému původu, technologické úrovni, metodické podobnosti a veřejné dostupnosti, považován touto prací za standard, vůči kterému budou snímky pořízené zdejší konstrukcí kvalitativně porovnávány a hodnoceny.

Pro objektivní hodnocení kvality obrazu, nezávislé na pozorovateli, využijeme možností výpočetních technologií. V rámci této práce byl vytvořen skript v prostředí programu Matlab, jehož výstup umožní objektivní kvalitativní srovnání dvou sad snímků. Činnost skriptu postupuje v souladu s výše popsáním hodnotícím algoritmem.

Reprezentativní vzorek bude tvořen 12 snímky osob oslovených autorem práce, proti nim bude zkoumáno 12 náhodně vybraných obrázků ze souboru Interval databáze CASIA Iris.

4.1 Realizace metodiky pomocí prostředí Matlab:

Stručné nastínění činnosti skriptu IRIS.m: Skript nejprve načte do proměnných všechny porovnávané obrazy z této práce (pojmenovány jako sada VUT) a databáze CASIA Iris, následně je převede do škály šedi. Na každém obrázku je uživatelem manuálně zacílena kružnice, udávající průběh jasového profilu. Postupně jsou pro všechny zadané kružnice stanoveny jasové profily pomocí funkce `improfile`. Nyní lze jednotlivé profily rozdělit do dvou skupin, dle toho, ze kterého snímacího systému pocházejí. Protože budou mít vzhledem k unikátním rozměrům duhovky každého subjektu jasové profily a tím i frekvenční spektra mezi sebou rozdílnou délku, jsou všechny jasové profily ještě před transformací doplněny nulami na délku nejdelšího v dané skupině. Pro každý vytvořený jasový profil je vypočtena rychlá Fourierova transformace funkcí `fft`. Hledáme univerzální spektrum, které by reprezentovalo svůj snímací systém, proto jsou všechna spektra ve své skupině zprůměrována s ostatními zástupci.

Dvě vzniklá průměrná spektra přímo poslouží ke srovnání obou systémů. Nyní určíme hodnotu hraniční frekvence, která obě spektra rozdělí na dvě oblasti - oblasti nižších a vyšších frekvencí. Pro obě spektra vypočteme výkony v obou jejich oblastech. Rychlá Fourierova transformace, jakožto algoritmus pro výpočet DFT, z principu svého fungování vytvoří obě spektra jako diskrétní, což nám umožňuje využít funkce sum pro výpočet výkonu dané oblasti. Následně pro obě spektra vypočítáme poměr výkonů obou frekvenčních pásem. Tento poměr lze pojmenovat jako "index ostrosti", jednočíselný skalární výstup, díky němuž můžeme mezi sebou porovnávat několikero snímacích systémů. Pak už zbývá jen objektivně prohlásit systém a sadu jeho obrazů, jež disponují vyšším indexem ostrosti, za kvalitativně lepší, ale to však jen a pouze z hlediska ostrosti pořizovaných snímků.

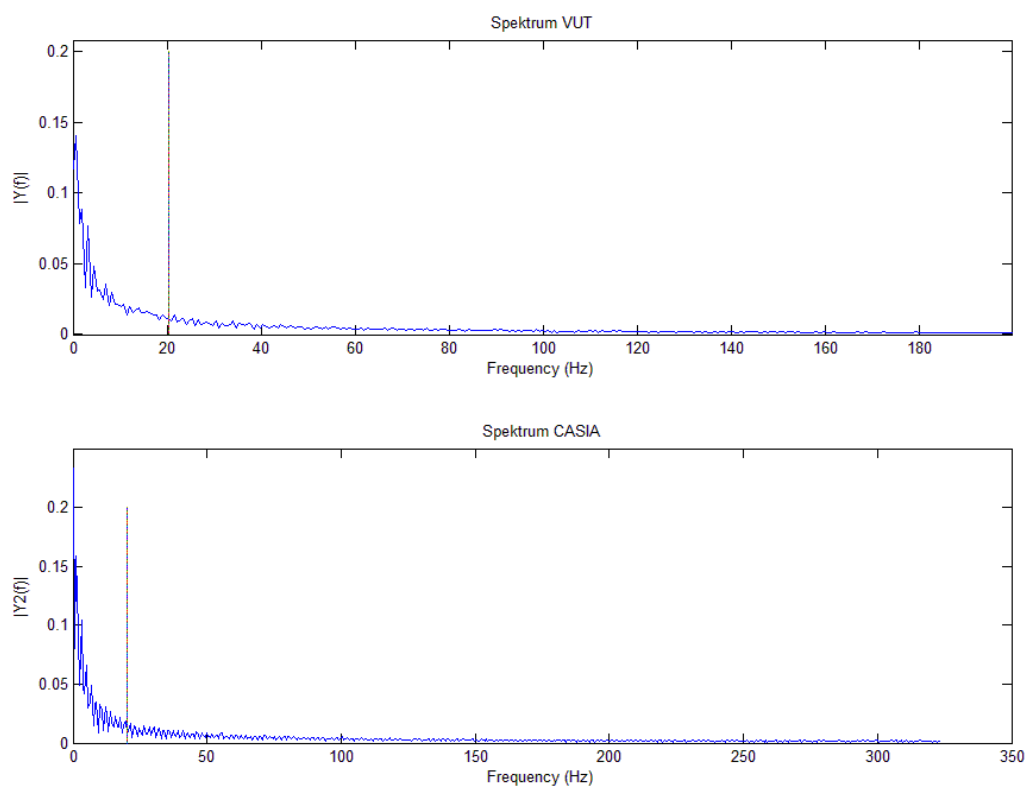
Srovnání ostrotí obrazů různých systému lze nepochybně docílit i jinými, jednoduššími způsoby. Nabízí se například využití modulové přenosové funkce (MTF) [17]. V případě této práce ovšem nelze tuto metodu využít, neboť vyžaduje provedení optického měření s hodnoceným přístrojem a definovaným fantomem, případně přístrojem pořízený specifický snímek s vysokým hranovým kontrastem, nebo minimálně dostupnost jeho detailních parametrů. Co se týče databází CASIA Iris, touto prací považovaných za standard, lze přístup veřejně získat pouze k výsledným snímkům, k přístroji samotnému, jeho detailním parametrům (jiným než základním, jako je rozlišení) nebo nasnímaným fantomům však nikoliv. Proto je využito metod sice méně robustních, ovšem prakticky snadno realizovatelných.

4.2 Výsledky hodnocení kvality snímků

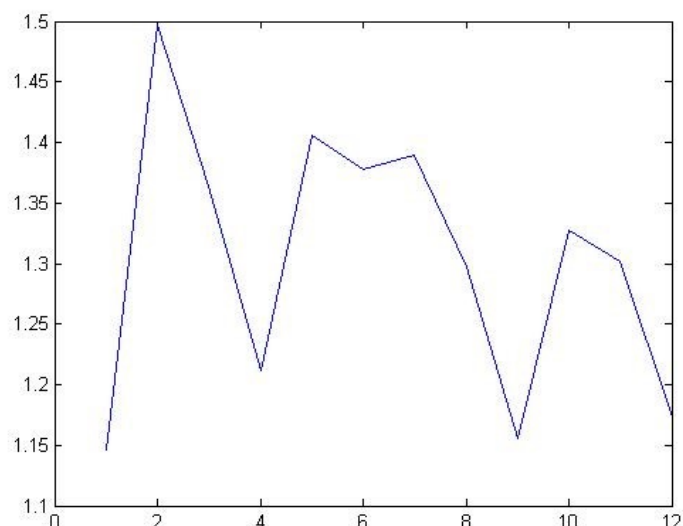
Hodnotícím kritériem kvality snímků a přeneseně tím i jejich mateřských snímacích systémů, bude index ostrosti, definovaný a popsán výše. Vyšší index ostrosti značí vyšší poměr výkonu v pásmu vyšších frekvencí proti pásmu nižších frekvencí. Za hraniční hodnotu pro rozdělení pásem je ke dvěma zpracovaným sadám obrázků zvolena hodnota 20 Hz. Nasazená metoda je zatížena systematickou chybou: protože zadání každé vodící kružnice jasového profilu v obraze probíhá manuálně, lze očekávat, že středy nebudou vždy na ploše zornice přesně vycentrovány. Podobně také druhý bod, kterým je hranice zornice, sloužící k výpočtu poloměru vodící kružnice, může být určena ne zcela přesně. Kompenzaci těchto nepříznivých jevů zajistíme několikanásobným provedením měření a následným zprůměrováním jednotlivých výsledků. Výsledky jsou uvedeny v Tabulce 4.1. Jednotlivé hodnoty odpovídají indexům ostrosti dané sady snímků, získaným z průměrného spektra v daném měření.

Tab. 4.1 Hodnoty indexů ostroty daných sad snímků, získaných z průměrných spekter

	Sada snímků VUT	Sada snímků CASIA
1. měření	1,2187	1,0162
2. měření	1,2557	1,0064
3. měření	1,2331	1,0191
4. měření	1,2094	1,0076
5. měření	1,2413	1,0902
Průměr	1,2316	1,0279
Směr.odchylka	0,0163	0,0315



Obr. 4.1 Grafy spekter pátého měření výkonů, zvýrazněna je frekvence 20 Hz



Obr. 4.2 Porovnání indexů ostrosti jednotlivých snímků dle pořadí v souboru během 5. měření

Provedeno bylo celkem pět měření na všech vybraných snímcích. Ve všech jednotlivých měřeních, stejně jako ve výsledném průměru, disponuje sada snímků VUT mírně vyšším indexem ostrosti.

Významným artefaktem snižujícím výslednou ostrost je činnost digitální (globální) závěrky. Vysoké přiblížení objektivu v kombinaci s přirozenou neschopností člověka zůstat v absolutním klidu způsobuje neustálý, mírný, ale zřetelný pohyb v obraze. Vzhledem k absenci jakékoliv formy stabilizátoru obrazu u této průmyslové kamery, a nutnosti dostatečné doby expozice, je výsledkem pouhým okem vysoce znatelné rozmazání výsledného snímku. Tomuto artefaktu na dané úrovni konstrukce a s dostupným užitým vybavením není možné čelit, a je nutné s ním ve výsledném hodnocení ostrosti snímků počítat.

Vzhledem k nedostupnosti detailních snímacích a přístrojových parametrů systému nelze u snímače CASIA výsledek vztáhnout ke konkrétním přístupům a problémům.

Obě sady snímků lze hodnotit také subjektivně. Již na první pohled je patrné vyšší rozlišení snímků VUT, které je činí pro pozorovatele příjemnějšími a lze na nich identifikovat více detailů. Z bodových odrazů v oblasti zornice na snímcích CASIA lze usuzovat na několikanásobně intenzivnější osvětlení ve srovnání se snímky VUT. Zajímavostí je vysoká prokreslenost struktury pupilární oblasti u snímků CASIA, zatímco ciliární oblast je na pohled prakticky homogenní. Naopak je tomu u snímků VUT, které disponují vyšší prokresleností v ciliární oblasti, kdežto pupilární oblast je nevýrazná. Tento jev lze nejspíš vysvětlit rozdílností v osvětlení a to jak v intenzitě, tak v použitých vlnových délkách.

5. Závěr

Během semestrální aktivity související s touto prací bylo postupně, dle požadavků zadání bakalářské práce, sestaven jednoduchý funkční systém pro snímání duhovky, pořízena sada snímků duhovek několika dobrovolníků, vytvořen skript v prostředí Matlab, sloužící ke zpracování, analýze a hodnocení kvality snímků na základě ostroty, provedeno porovnání s obrázky z databáze CASIA a na základě získaných poznatků a zkušeností je v závěru provedena reflexe systému a nabídnuta řešení pro potenciální další zkvalitnění systému v rámci akademického využití.

V průběhu této práce bylo na systému provedeno několik vývojových úprav. Jednalo se především o výměnu kamery DFK 31AU03 za druhý dostupný model DFK 23U445, a to kvůli požadavku na vyšší spektrální citlivost v NIR pásmu, i když zisk činil jen o několik málo procent. Dále byl vyměněn standardní objektiv za makro objektiv MLH-10X, který poskytuje vyšší množství detailu ve snímku. Původní osvětlovací obruč byla doplněna dvěma postranními panely pro zvýšení osvětlenosti duhovky. S tím souvisí i rozšíření počtu laboratorních zdrojů napájejících LED ze dvou na čtyři (2 přístroje, každý se dvěma výstupy). Zavedením těchto úprav bylo dosaženo zisku výrazně kvalitnějších snímků.

Důležitým výstupem této bakalářské práce je taká sada doporučení, jejichž aplikace může dále pomoci v procesu zlepšování kvality snímků. Nebylo možné je přímo zužitkovat během této práce a to povětšinou v důsledku nižších zdrojů a dostupného vybavení, alokovaného pro tento projekt. Jedná se zejména o snímací senzor, jehož efektivita na NIR vlnových délkách je relativně nízká. Nabízí se tedy využití technologií se zvýšenou efektivitou v pásmu NIR, nebo přímo určených pro NIR-IR spektrum (založeny například na slitině InGaAs).

Dále je možné sestavit výkonnější osvětlovací aparát. K tomu lze využít například NIR LED s vyšším optickým výkonem, nebo může být k současným dvěma vlnovým délkám přidána další. Navýšení optického výkonu se jeví jako nejpříznivější varianta, protože díky necitlivosti lidské sítnici vůči infračervenému záření je škála použitelných hodnot poměrně široká. Zvýšení optického výkonu přináší zvýšení osvětlenosti cílového objektu a s tím i vyšší množství senzorem zachycených detailů, zvyšuje se ostrost. Zvýšení osvětlenosti by také dovolilo větší přivření clony objektivu při zachování kvality snímku, čímž bychom získali větší hloubku ostroty, která výslednou ostrotu snímku také ovlivňuje. Zvolit lze i kompromis mezi přivřením clony a snížením zesílení, které do snímku nevyhnutelně zavádí nechtěný šum. Pohybovou neostrotu, která vzniká během činnosti globální závěrky CCD čipu, lze snížit pomocí kratšího expozičního času. Takto lze postupovat, při zachování stejné osvětlenosti, právě při zvýšení optického výkonu osvětlovacích LED. Potenciálních zlepšení souvisejících s touto variantou progresu je tedy celá řada.

Je však potřeba brát na vědomí, že příliš silné IR záření může způsobit poškození sítnice [11], a důsledkem necitlivosti k IR záření je absence přirozené reflexivní ochrany. Při výběru další vlnové délky pro osvětlení je nutné respektovat spektrální charakteristiku použitého senzoru. Použití větší vlnové délky by mělo smysl hlavně v kooperaci se snímacím senzorem určeným pro IR pásmo. Vůči ostatním řešením je posílení a rozšíření osvětlovacího aparátu pravděpodobně nejlevnější variantou se slibnou nadějí na úspěch.

Důležité je zmínit se o vztahu ostrosti a prostorového rozlišení ke kvalitě a robustnosti systémů pro rozpoznávání duhovky. Nejznámější Daugmanův algoritmus využívá ke kódování snímané duhovky pouze fázovou informaci vzniklou aplikací Gaborovy vlnkové transformace [20]. Fázová část spektra není tolik ovlivněna snímacími parametry a podmínkami, zejména ostrostit, osvětleností a šumem, jako její amplitudové dvojče, které proto není při výpočtu kódu využito. Daugmanův rozpoznávací algoritmus díky tomu dává velmi solidní výsledky i při práci se snímky nevalné kvality [2][21]. Speciálně vlivem snížené ostrosti snímku na výkon rozpoznávacích systémů se zabývá analýza [22], uvedená ve zdrojích této práce.

Lze tedy závěrem konstatovat, že jednoduchý snímací systém, jakožto předmět této bakalářské práce, by byl s největší pravděpodobností schopen, a to mimo své současné využití, poskytnout data použitelná pro rozpoznávací algoritmus (v úvahu brán Daugmanův algoritmus). K tomuto závěru budiž dospěno jednak na základě kvalitativního srovnání s veřejně dostupnou akademickou databází CASIA Iris Interval, které tento studentský systém absolvoval s mírně vyšším skóre, co se ostrosti snímků týče, a dále také díky známé robustnosti a toleranci Daugmanova algoritmu, který je základem pro identifikační systémy, založené na snímání duhovky.

Seznam použité literatury

- [1] M. DRAHANSKÝ, F. ORSÁG, M. DOLEŽEL. *Biometrie*. Brno: Computer Press, 2011, 294 s. ISBN 8025489795
- [2] RAK, Roman. *Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích*. Praha: Grada, 2008, 664 s. ISBN 978-80-247-6392-7.
- [3] ČIHÁK, Radomír. *Anatomie 3*. Praha: Grada, 2004, 673 s. ISBN 80-247-1132-X.
- [4] GONG, Yazhuo. High-Speed Multispectral Iris Capture System Design. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* [online]. 2012, vol. 61, issue 7, s. 1966-1978 [cit. 2014-01-05]. DOI: 10.1109/TIM.2012.2183036. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6153059>
- [5] PRABHAKAR, Salil. *Biometric recognition: Sensor characteristics and image quality* [online]. 2011 [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=5773529&refinement%3D4291944246%26queryText%3Diris+acquisition+system>
- [6] WILLIAM, Gerald O. *Iris recognition technology* [online]. 1997 [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=575997&refinements%3D4291944246%26queryText%3Diris+acquisition+system>
- [7] CONNEL, Jonathan. *Fake iris detection using structured light* [online]. 2013 [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6639363&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel7%2F6619549%2F6637585%2F06639363.pdf%3Farnumber%3D6639363>
- [8] FAIRHURST, M. *Analysis of physical ageing effects in iris biometrics* [online]. 2011 [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=6105281&refinement%3D4291944246%26ranges%3D1998_2013_p_Publication_Year%26queryText%3Diris+Biometrics

- [9] CHITTE,P.P. et al. *IRIS Recognition System Using ICA, PCA, Daugman's Rubber Sheet Model Together* [online]. [cit. 2013-12-27] - Dostupné z: <http://epic.org/privacy/surveillance/spotlight/1005/irid_guide.pdf>
- [10] BAKER, Sarah E. et al. *Template Aging in Iris Biometrics: Evidence of Increased False Reject Rate in ICE 2006* [online]. 2006 [cit. 2014-01-03]. Dostupné z: <http://www3.nd.edu/~kwb/BakerEtAl_2012.pdf>
- [11] BUMCHUL, Kim, LG Electronics. *Eye safety analysis* [online]. 2002 [cit. 2014-01-03] Dostupné z <<http://www.lgiris.com/download/docs/EyeSafetyAnalysis.pdf>>
- [12] CZAJKA, Adam. *Replay attack prevention for iris biometrics* [online]. 2008 [cit. 2014-01-03] Dostupné z: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4751309&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F4747413%2F4751258%2F04751309.pdf%3Farnumber%3D4751309>>
- [13] FLYNN, Patrick J. *Iris multibiometrics* [online] prezentace [cit 2014-01-05]. Dostupné z: <http://www.cse.nd.edu/~kwb/Iris_Flynn.pdf>
- [14] ROSS, Arun et al. *Exploring Multispectral Iris Recognition beyond 900nm* [online]. 2009 [cit. 2014-01-05]. Dostupné z<http://www.cse.msu.edu/~rossarun/pubs/RossMSIris_BTAS2009.pdf>
- [15] SECURITY WORLD: *magazín o bezpečnosti v kybernetickém světě*. Praha: IDG Czech, 2007-. ISSN 1802-4505.
- [16] CASIA-IrisV4. Biometrics Ideal Test [online]. [cit. 2014-05-30]. Dostupné z: <http://biometrics.idealtest.org/dbDetailForUser.do?id=4>
- [17] Sharpness: What is it and how is it measured?. In: *Imatest* [online]. [cit. 2014-05-30]. Dostupné z: <http://www.imatest.com/docs/sharpness/>
- [18] BURGE, Mark J., BOWYER, Kevin. *Handbook of iris recognition*. London: Springer, 2013. ISBN 14-471-4402-3.
- [19] LI, Stan Z. *Encyclopedia of biometrics*. New York: Springer, 2009. ISBN 978-0-387-73002-8.
- [20] DAUGMAN, J. *How Iris Recognition Works* [online]. [cit. 2014-05-30]. DOI: 10.1109/TCSVT.2003.818350. Dostupné z: <http://www.cl.cam.ac.uk/~jgd1000/csvt.pdf>

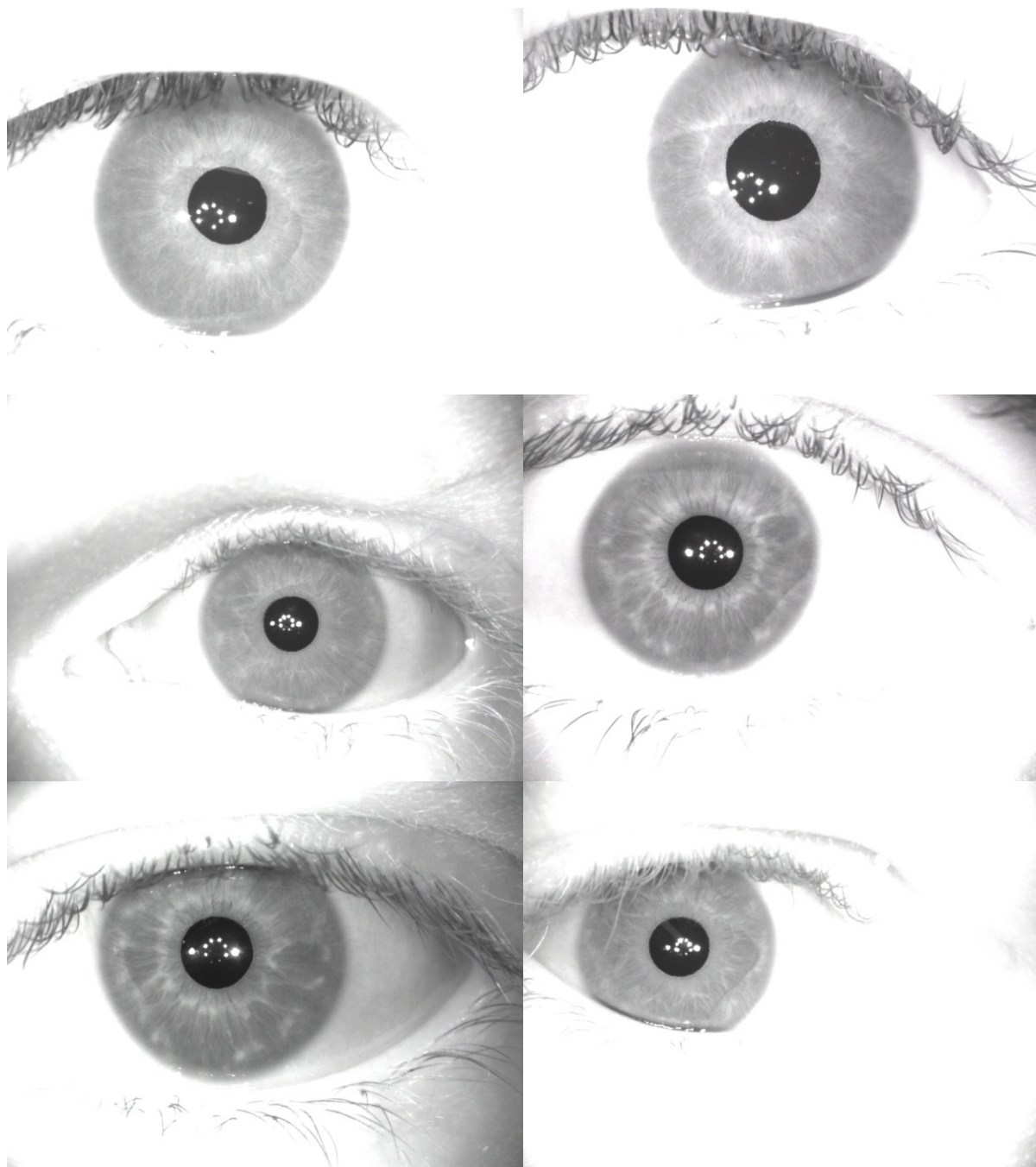
- [21] DAUGMAN, John. Iris Recognition: Algorithms, Performance, and Challenges. In: [online]. [cit. 2014-05-30]. Dostupné z: http://www.biometrics.org/bc2007/presentations/Tues_Sep_11/BSYM/11_Daugman_BYSM.pdf
- [22] SAZONOVA, Nadezhda a Stephanie SCHUCKERS. Impact of out-of-focus blur on iris recognition. In: [online]. [cit. 2014-05-30]. Dostupné z: <http://www.clarkson.edu/biosal/pdf/impactiris.pdf>
- [23] VARGA, Kamil. Hloubka ostrosti. In: Fotoaparát.cz [online]. [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: <http://www.fotoaparat.cz/article/10905/1>
- [24] VÁVRA, Václav a Jindřich ŠTELCL. Základy digitálních dokumentačních technik a možnosti jejich využití [online]. [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: <http://is.muni.cz/elportal/estud/prif/ps08/digitech/web/kapitola2/3.html>
- [25] Teorie a specifikace digitálního videa. In: Gjszlin.cz: Výukové lekce pro předměty GDM a SIN [online]. [cit. 2014-05-30]. Dostupné z: <http://www.gjszlin.cz/ivt/esf/premiere/teorie-a-specifikace-1-esf.php>
- [26] JAN, J. Číslicové zpracování a analýza signálů - stručné skriptum. Číslicové zpracování a analýza signálů - stručné skriptum. Vutium Brno. Brno: Vutium Brno, 2009. s. 1-138. ISBN: 978-80-214-4018- 0.

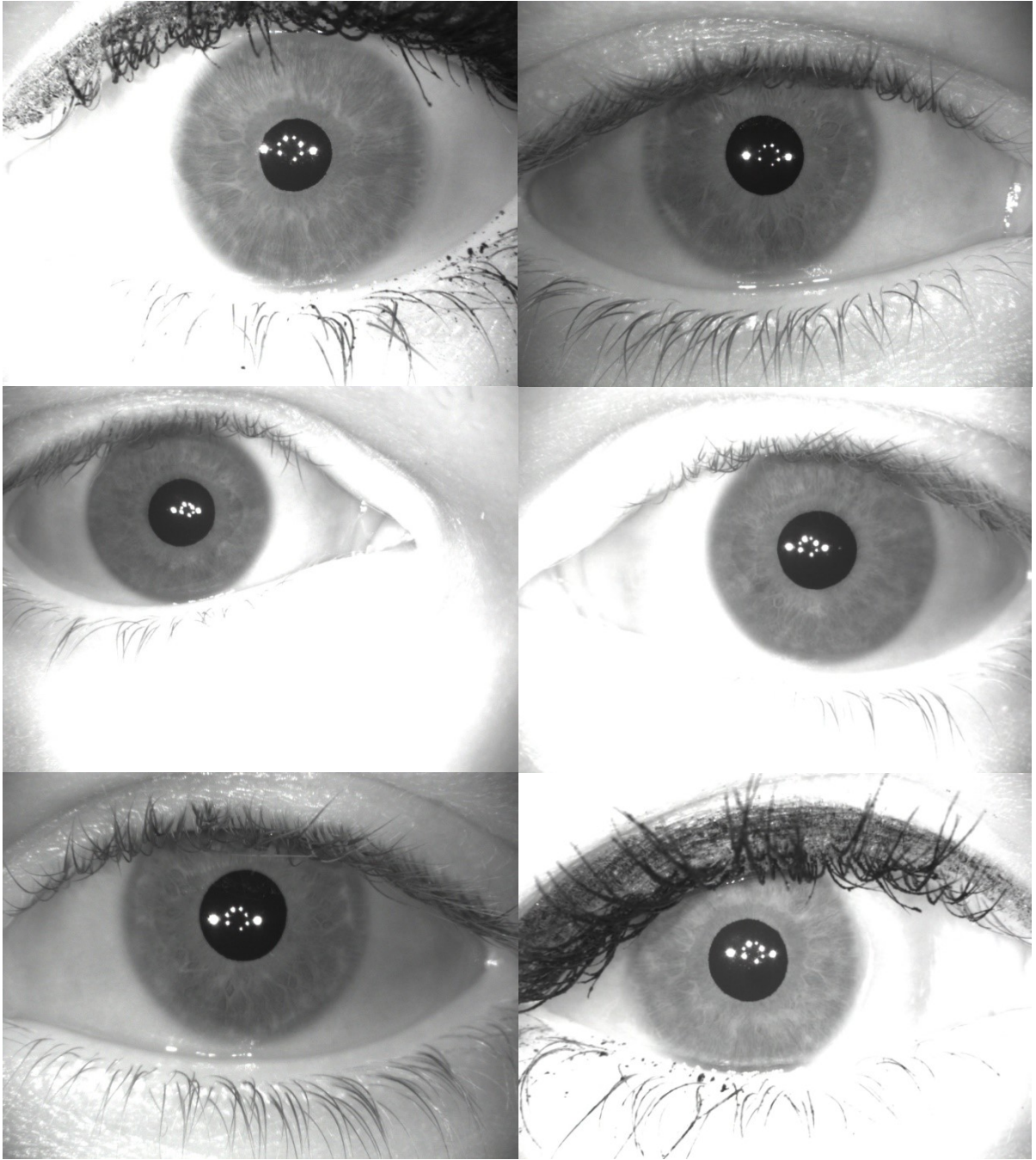
Zkratky a pojmy

CCD	charge-coupled device. Elektronická součástka pro snímání obrazu.
IR	infrared. Záření z infračervené oblasti elektromagnetického spektra.
NIR	near-infrared. Záření z blízké infračervené oblasti (750-1400 nm) elektromagnetického spektra.
LED	light-emitting diode. Dioda emitující světlo.
Hb	hemoglobin. Protein, obsažený v červených krvinkách.
MTF	modular transfer function. Modulační přenosová funkce
InGaAs	indium gallium arsenid. Slitina pro obrazové senzory citlivé v IR části spektra.
Improfile	funkce v Matlabu. Vypočítá jasový profil po mezi danými body.
Fft	funkce v Matlabu. Provede Rychlou Fourierovu transformaci (diskrétní) zadaného vstupu.
DFT	diskrétní Fourierova transformace.

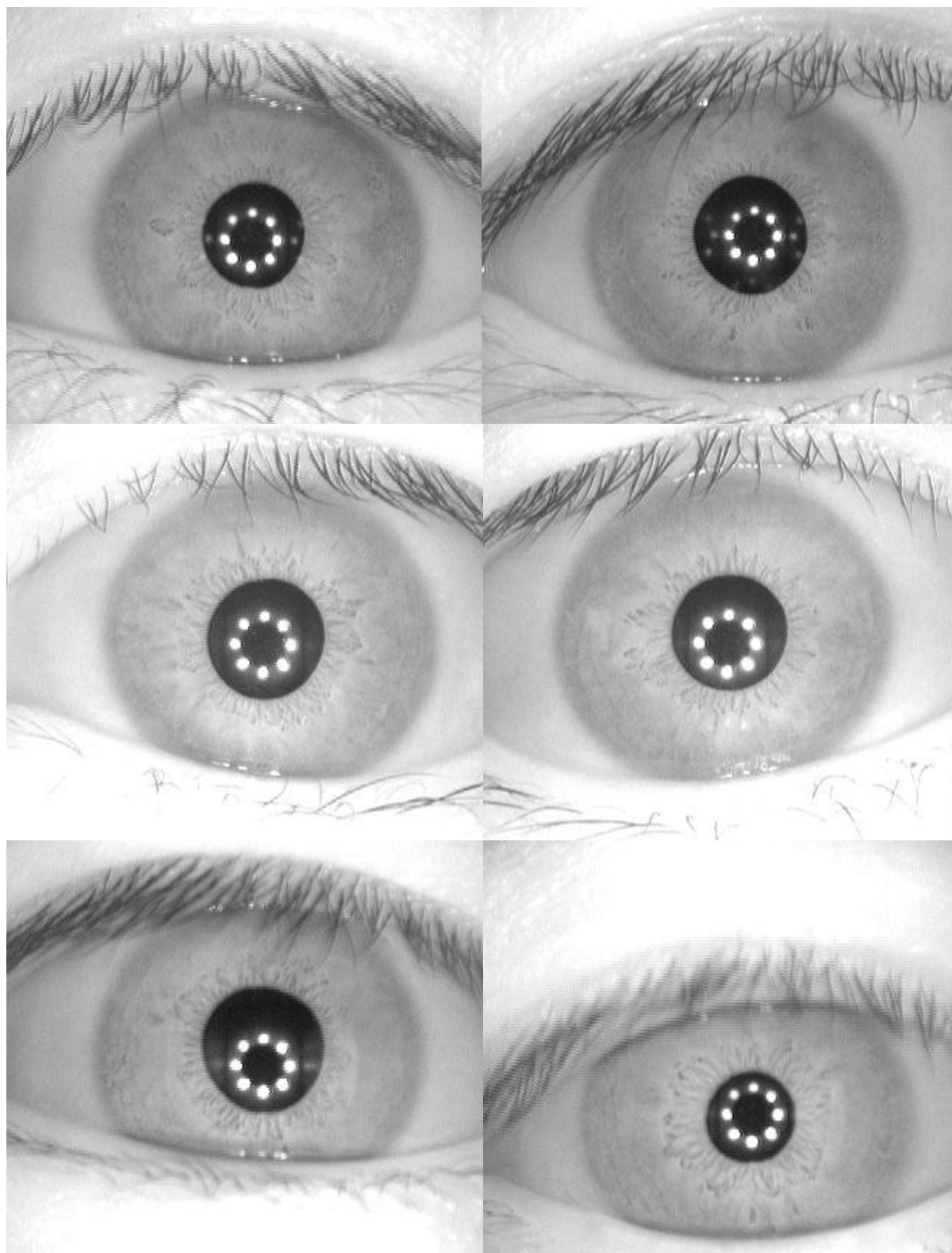
Přílohy

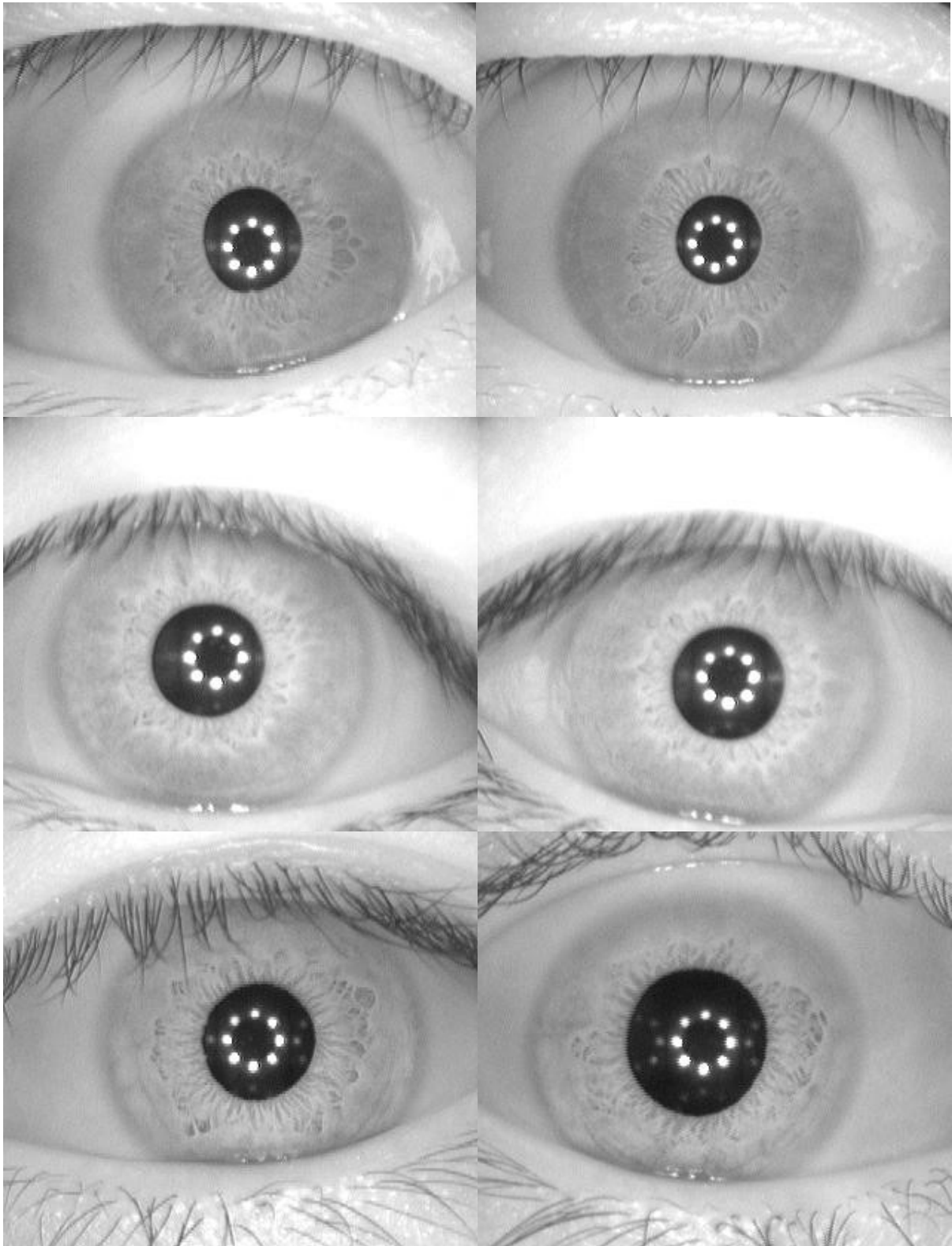
Sada snímků VUT





Sada snímků ze souboru CASIA Iris Interval:





Technické parametry objektivu Computar MLH-10X:

computar

MLH-10X

10X
for 1/2 type Cameras, Macro Zoom
C-Mount

Model No.	MLH-10X		Effective	Front	∅30mm
Max. Magnification	0.084mm - 0.84mm		Lens Aperture	Rear	∅6.6mm
Max. Aperture Ratio	1:5.6		Back Focal Length		23.29mm
Max. Image Format	6.4mm x 4.8mm(∅8mm)		Flange Back Length		17.526mm
Operation Range	Iris	F5.6 - F32C	Mount		C-Mount
	Focus	0.15m - 0.45m	Filter Size		M46 P=0.75mm
			Dimensions		∅48mm x 98.5mm
Control	Iris	Manual	Weight		260g
	Focus	Manual			
	Zoom	Manual			
Object Size(1/2 type CCD)	Working	152.4mm(6")	92.2mm - 9.6mm(D)	74.6mm - 7.8mm(H)	56.4mm - 5.9mm(V)
	Distance	457.2mm(18")	349.4mm - 34.6mm(D)	279.2mm - 28.0mm(H)	208.8mm - 21.2mm(V)
Object Size(1/3 type CCD)	Working	152.4mm(6")	70.1mm - 7.3mm(D)	56.4mm - 5.9mm(H)	42.4mm - 4.4mm(V)
	Distance	457.2mm(18")	261.6mm - 26.4mm(D)	208.8mm - 21.2mm(H)	156.2mm - 16.0mm(V)
Object Size(1/4 type CCD)	Working	152.4mm(6")	53.0mm - 5.6mm(D)	42.4mm - 4.4mm(H)	31.8mm - 3.4mm(V)
	Distance	457.2mm(18")	208.8mm - 21.2mm(D)	156.2mm - 16.0mm(H)	117.0mm - 12.0mm(V)
Angle of View	D	1/2 type	21.6° - 4.5°	1/3 type	17.0° - 3.3°
	H		18.0° - 3.6°		13.8° - 2.7°
	V		13.8° - 2.7°		10.6° - 2.0°
Operating Temperature		-20°C - +50°C			

* For CS-Mount camera, please use 5mm adapter ring.
M.O.D. : Minimum Object Distance

Vybrané technické parametry LED 940 nm

THORLABS

LED940E

Part 1. Introduction: LED940E Ultra Bright NIR LED

The [LED940E](#) emits light with a spectral output centered at 940 nm. This LED is composed of heterostructures (HS) grown on an GaAs substrate. The diode is encapsulated in a round clear epoxy casing with a 5 mm diameter.

Part 2. Specifications for an LED940E

2.1. Electrical Specifications

	Typical	Maximum Ratings
Power Dissipation		140 mW
Reverse Voltage		5.0 V
DC Forward Current		100 mA
Forward Voltage @ 20 mA	1.3 V	1.45 V
Reverse Current $V_r = -5$ V		10μA
Pulsed Current (1 ms pulse with 10% duty cycle)		1000 mA
Operating Temperature		-30 °C to 85 °C
Storage temperature Range		-30 °C to 100 °C

Note: All maximum measurements specified are at 25 °C.

2.2. Optical Specifications

	Typical
Center Wavelength	940 nm
FWHM	50 nm
Half Viewing Angle	10°
Forward Optical Power	6.2 mW
Total Optical Power	18 mW
Rise (Fall) Time	1 (0.5) μs

Vybrané technické parametry LED 870 nm



LED870E

Part 1. Introduction: LED870E Ultra Bright NIR LED

The [LED870E](#) emits light with a spectral output centered at 870 nm. This LED is composed of heterostructures (HS) grown on an AlGaAs substrate. The diode is encapsulated in a round clear epoxy casing with a 5 mm diameter.

Part 2. Specifications for an LED870E

2.1. Electrical Specifications

	Typical	Maximum Ratings
Power Dissipation		160 mW
Reverse Voltage		5.0 V
DC Forward Current		100 mA
Forward Voltage @ 20 mA	1.5 V	1.7 V
Reverse Current $V_r = -5$ V		10 μ A
Pulsed Current (1 ms pulse with 10% duty cycle)		1000 mA
Operating Temperature		-30 °C to 85 °C
Storage temperature Range		-30 °C to 100 °C

Note: All maximum measurements specified are at 25 °C.

2.2. Optical Specifications

	Typical
Center Wavelength	870 nm
FWHM	40 nm
Half Viewing Angle	10° ($\pm 2^\circ$)
Forward Optical Power	8.3 mW
Total Optical Power	22 mW
Rise (Fall) Time	15 (10) ns

Vybrané části kódu skriptu IRIS.m

```
%% vytvoření jasových profilů
c = {};
fourier = {};
fourier_c = {};
for n = 1:L
    imshow( im{n}, [] );
    hold on
    [x0, y0] = ginput(1);
    [xr, yr] = ginput(1);

    fi = 2*pi*(0:1:359)/360;

    r = sqrt( (x0-xr)^2 + (y0-yr)^2 );
    r2 = r + 1/2*r;
    x = x0 + r2*cos(fi) ;
    y = y0 + r2*sin(fi) ;

    imshow( im{n}, [] );
    hold on
    plot(x,y,'r. ');

    c{n} = improfile( im{n}, x, y );
end

%% počítání spekter
P1 = length(VUT{1}); %všechny stejně dlouhé
P2 = length(CASIA{1});
Fs1 = P1;
Fs2 = P2;
NFFT = 2^nextpow2(P1); % Next power of 2 from length of y
NFFT2 = 2^nextpow2(P2);
```

```

fourier = {};
fourier_c = {};
for i = 1:L1
    fourier{i} = fft(VUT{i},NFFT)/P1;
    fourier{i} = abs(fourier{i});
end
for i = 1:L2
    fourier_c{i} = fft(CASIA{i},NFFT2)/P2;
    fourier_c{i} = abs(fourier_c{i});
end

%% průměrování spekter
% i nabývá hodnot od 1 do délky prvního spektra,
% neboť všechna jsou po doplnění stejně dlouhá
fourier_av = []; %průměrné spektrum VUT
fourier_av_c = []; %průměrné spektrum CASIA
for i = 1:length(fourier{1})
    hodnoty_spekter = [];
    for j = 1:L1
        hodnoty_spekter = [hodnoty_spekter, fourier{j}(i)];
    end
    fourier_av(i) = mean(hodnoty_spekter);
end

for i = 1:length(fourier_c{1})
    hodnoty_spekter_c = [];
    for j = 1:L2
        hodnoty_spekter_c = [hodnoty_spekter_c, fourier_c{j}(i)];
    end
    fourier_av_c(i) = mean(hodnoty_spekter_c);
end

%potlačení stejnosměrné složky
fourier_av = fourier_av(3:end);
fourier_av_c = fourier_av_c(3:end);

%% poměr vysokých a nízkých frekvencí
% hraniční frekvence zvolena 20 Hz
% výkon v daném segmentu vypočten sumou
% poměrem výkonů v obou pásmech získá indexu ostrosti

%frekvenční osa
fosa = Fs1/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
fosa_c = Fs2/2*linspace(0,1,NFFT2/2+1);

%nalezení hraniční frekvence
IDX = knnsearch(fosa',20);
IDX_c = knnsearch(fosa_c',20);
%rozdělení spekter dle hraniční frekvence, první 3 vzorky se neberou
male_pomery = [];
male_pomery_c = [];
for i = 1:L1
    g1 = fourier{i}(3:IDX);
    g2 = fourier{i}(IDX+1:end);
    s1 = sum(g1);
    s2 = sum(g2);
    male_pomery(i) = s2/s1;
end
for i = 1:L2
    h1 = fourier_c{i}(3:IDX_c);
    h2 = fourier_c{i}(IDX_c+1:end);
    k1 = sum(h1);
    k2 = sum(h2);
    male_pomery_c(i) = k2/k1;
end

%rozdělení průměrných spekter dle hraniční frekvence
f1 = fourier_av(1:IDX); % hraniční frekvence ~20 Hz
f2 = fourier_av(IDX+1:end);

```

```

fc1 = fourier_av_c(1:IDX_c); % hraniční frekvence ~20 Hz
fc2 = fourier_av_c(IDX_c+1:end);

%pomocí sum -> součet amplitud v daném pásmu
vykon1 = sum(f1);
vykon2 = sum(f2);
pomer1 = vykon2/vykon1

vykon1c = sum(fc1);
vykon2c = sum(fc2);
pomer2 = vykon2c/vykon1c

```

Skript hloubka_ostrosti.m

```

f = imread ('fantom4.bmp');
f = rgb2gray(f);
figure(5)
imshow(f)
% x = [1.sl,2.sl] y = [1.řádek,2.řádek]
x5 = [1,1280];
y5 = [700,700];
t = improfile(f,x5,y5);
%výpočet limitu
mint = min(t);
maxt = max(t);
rozsah = maxt - mint;
limit = maxt-rozsah*0.707
%vyobrazení
figure(6)
plot(t)
hold on;
plot(1:1280,limit)
hold off;
title('Měření hloubky ostrosti')
xlabel('vzdálenost')
ylabel('jas')

```